

Советская геология



III/1989

Техногеология
Геологическая модель
медно-порфирового месторождения
Типовые схемы поисков рудных объектов
Парегидротермы

МЕТОДОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ	
Калинко М. К. Техногеология: актуальность и приоритетные направления развития	3
Денисов М. Н. Назначение запасов различных категорий месторождений твердых полезных ископаемых	11
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ	
Лоссовский Е. К. О «случайном» бурении в нефтегазоносных областях	14
Смирнов Б. В. Актуальные проблемы геологии и разведки угольных месторождений	21
МЕТАЛЛОГЕНИЯ	
Тихонов В. А. О кольцевой металлогенической зональности докембрийских платформ	26
Горяинов И. Н., Аглонов В. С., Аглонов С. В. Новый аспект металлогенических перспектив северо-запада Сибирской платформы	31
РУДНОЕ И НЕРУДНОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ	
Сахновский М. Л. Классификация рудных объектов и типовые схемы поисков при глубинном геологическом картировании	37
Каминский В. Г. Комплексная геолого-поисковая модель медно-порфирового месторождения Баньинской зоны	46
РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА	
Гарбар Д. И., Трофимов О. В., Попов В. В., Кабаков Л. Г. Геодинамические обстановки основных	
этапов развития территории Северо-Запада СССР	57
Михайлов Ю. А., Шлезингер А. Е. Относительные колебания уровня моря и конседиментационная тектоника	68
СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ	
Киричкова А. И., Тимошина Н. А., Меньшикова Н. Я. Фитостратиграфия юрских отложений Мангышлака	73
МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ	
Мишин Л. Ф. Структурное картирование вулканоплутонических комплексов	82
Конюшев А. Д., Максимова М. Ф. Литолого-фациальные и минералого-геохимические особенности месторождений в палеодолинах	89
ГЕОФИЗИКА И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ	
Акрамовский И. И., Милай Т. А., Ефремова Н. А. Гравиразведка в крупномасштабном геологическом доизучении горнорудных районов	96
ГЕОХИМИЯ	
Галюк С. В. Технология моделирования околорудного признакового геохимического поля	105
ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ	
Шпак А. А., Боровский Л. В., Остапенко С. В., Отман Н. С. Парогидротермы: проблемы изучения и промышленного освоения	111
ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ	
Зыков В. А. Нужна ли электроразведка при поисках нефти и газа в современных условиях?	116

Художественный редактор С. М. Потемкина
Технический редактор С. Г. Веселкина
Корректор Э. А. Ляхова

Сдано в набор 21.09.89. Подписано в печать 19.10.89. Т-17005. Формат 70×108^{1/16}.
Бумага книжно-журнальная и картографическая. Печать высокая. Усл. печ. л. 11,49 с вкл.
Усл. кр.-отт. 13,9 с вкл. Уч.-изд. л. 13,3. Тираж 2775 экз. Заказ № 1107. Цена 1 р. 60 к.

Адрес редакции: 123812, Москва, Бол. Грузинская, 4/6
Т е л е ф о н 254-29-56
Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ
199178, Ленинград, Средний пр., 72

© Издательство «Недра», «Советская геология», 1989



УДК 55.001.1

М. К. КАЛИНКО (ВНИГНИ)

Техногеология: актуальность и приоритетные направления развития

В последние десятилетия разрабатываются новые технологии, направленные на повышение эффективности извлечения минерального сырья. Одновременно расширяется использование земной коры не только как источника полезных ископаемых, но и источника тепловой или барической энергии, а также для складирования некоторых полезных ископаемых и захоронения вредных флюидов — промышленных стоков и т. д. [3, 4]. Расширение и углубление проникновения человека в земную кору давно вызывают тревогу в отношении возможных нарушений ее естественных режимов; исследуются методы охраны недр [6, 8].

Все указанные разработки исходили из потребностей соответствующих отраслей промышленности и развивались автономно, без связи со сходными исследованиями в других отраслях. Так, в угледобывающей промышленности изучаются методы подземной газификации угля, на сланцедобывающих предприятиях — подземной переработки сланцев, в нефтедобывающей промышленности — внутрислоевого горения нефти, в серодобывающей — подземного сжигания серы. Независимо друг от друга и в разных отраслях знаний изучаются методы захоронения промышленных стоков и создания подземных хранилищ газа, хотя оба метода используют одну и ту же информацию о флюидопроводящих и флюидоизолирующих свойствах горных пород и толщ [5].

Методологическое единство в решении поставленных проблем заключается в широком применении технических средств к природным геологическим объектам. Поэтому вполне целесообразным представляется объединение всех указанных разработок в единое направление и создание соответствующей отрасли геологии. Актуаль-

ность создания подобной отрасли особенно очевидна при анализе путей развития геологических наук в ближайшем будущем.

По подсчетам различных исследователей, известные запасы многих полезных ископаемых могут обеспечить глобальные потребности лишь до середины XXI века, а в отдельных странах — до первых десятилетий XXI века; следовательно, назревает кризис минерального сырья, который будет охватывать все большее количество стран. В истории развития человеческого общества подобные ситуации в различных областях возникали неоднократно и надвигающиеся кризисы предотвращались благодаря созданию новых технологий: химической, биологической, физической и др.

В обеспечении цивилизации минеральным сырьем создание новых технологий также позволит предотвратить надвигающийся кризис. О реальности такого предположения свидетельствуют следующие расчеты. Как известно, при современной технологии добычи нефти извлекается лишь 1/3 содержащихся ресурсов и, следовательно, в недрах разработанных и разрабатываемых месторождений мира сейчас содержится 170 млрд т (суммарная добыча мира на 1.01.89 г. — 85 млрд т). Если учесть, что разведанные извлекаемые запасы нефти мира на эту дату составляют 110 млрд т, то в недрах имеется более 400 млрд т, которые можно извлечь только с помощью новых технологий.

При ежегодном мировом потреблении нефти порядка 3 млрд т (это количество вряд ли будет существенно повышаться, исходя из экологических факторов — сохранения баланса диоксида углерода в атмосфере) извлечение с помощью новых технологий хотя бы 20 % остающихся ресурсов нефти

может обеспечить мировые потребности на 23 года. Если же учесть, что в недрах планеты содержится еще и 900 млрд т высоковязких нефтей и твердых битумов, то внедрение новых технологий может обеспечить человечество данным видом сырья на несколько столетий. Имеются все основания считать, что содержащиеся в недрах ресурсы нафтидов могут быть использованы полностью и их будет достаточно для обеспечения цивилизации в обозримом будущем.

Большинство твердых полезных ископаемых в настоящее время добывается шахтным методом с глубины 1—2 км, редко более. Между тем, по данным сверхглубокого бурения, эти ископаемые распространены до глубин не менее 10 км. Новые технологии позволяют извлекать большинство твердых полезных ископаемых скважинным методом и при концентрациях в породах на целый порядок меньших, чем в настоящее время [2]. Следовательно, внедрение разработанных технологий позволит добыть эти полезные ископаемые в количествах на два порядка больших, чем добыто за все время существования горного дела.

Таким образом, неизбежно значительное усиление технологической стороны в деле добычи полезных ископаемых в ближайшем и отдаленном будущем. Чем раньше и целенаправленнее это будет сделано, тем быстрее возрастет эффективность извлечения полезных ископаемых из недр. Поэтому представляется актуальным выделение разработок технического воздействия на геологические объекты в самостоятельную ветвь геологических наук.

Рассмотрим вопрос о терминологии. Ветвь геологии, изучающую и разрабатывающую технические методы воздействия на земную кору, как и в других науках, было бы правильно называть геологической технологией (как, например, химическая технология, биотехнология, минералогическая технология и др.). Но, к сожалению, этот термин уже занят: «геотехнологией» называют бесшахтный способ добычи твердых полезных ископаемых [1]. Поэтому следует использовать термин, предложенный в свое время В. А. Обручевым и возрожденный А. В. Сидо-

ренко [9], — «техническая геология», под которым надо понимать ту группу геологических наук, которая изучает методы технического воздействия на земную кору и ее охрану. В таком случае геотехнология является одной из ветвей техногеологии (табл. 1).

В настоящее время в техногеологии имеется несколько направлений, одна часть которых уже разработана, другая — только намечается, а развитие третьего вероятно в отдаленном будущем. По мере прогресса техногеологии будут возникать новые направления, появятся новые проблемы и будут предложены пути и методы их решения.

В нафтотехнологии исследуются физические, химические, микробиологические методы повышения нефте-, конденсато- и газоотдачи пластов, а также методы извлечения высоковязких нефтей и твердых битумов. Возникли проблемы извлечения нефти и газа из полуколлекторов и разработки месторождений газогидратов. В отдаленном будущем представляется возможность использования естественных полей недр для решения указанных задач и в еще более отдаленном будущем — аккумуляция и извлечение рассеянных УВ и интенсификация их образования.

Задачи, стоящие перед геотехнологией, подробно описаны В. Ж. Аренсом [1, 2]. Вероятно, в отдаленной перспективе возможна интенсификация процессов рудогенеза в недрах, как это видно по материалам Кольской сверхглубокой скважины. Начинается разработка термобарической техногеологии, однако масштабы использования геотермической энергии незначительны по сравнению с суммарными ее ресурсами. Кроме того применяется лишь один гидротехнологический метод, в то время как можно использовать и так называемый «сухой», прокачивая принудительно флюиды через нагретые массивы. Поскольку зоны геотермических аномалий, как правило, характеризуются сверхнормальными пластовыми давлениями, имеются потенциальные возможности использовать при этом и барическую энергию недр [14].

Совершенствуются методы полного и комплексного использования подземных вод — гидротехнология. По ме-

Таблица 1

Приоритетные направления развития техногеологии

Приоритетные направления на ближнюю (А) и дальнюю (Б) перспективу	Целевое назначение
I. Теоретические и методические основы техногеологии А. Теория прочности флюидоупоров, выведение штаммов микроорганизмов, влияние физических полей на подвижность флюидов. Теоретические основы комплексирования направлений Б. Теория интенсификации разных геологических процессов: тектонических движений, рудо- и нефтеобразования и т. д. II. Нафтотехнология А. Повышение нефте-, газо- и конденсатоотдачи, создание методов разработки месторождений высоковязких нефтей, природных битумов и газогидратов, нефтяных и газовых залежей в полуколлекторах Б. Интенсификация процессов аккумуляции нафтидов и их образования III. Геотехнология А. Бесшахтные методы извлечения до глубины 9—10 км твердых полезных ископаемых при низких их концентрациях Б. Интенсификация процессов рудообразования в недрах IV. Термобарическая техногеология А. Использование тепла «сухих» горячих массивов, барических источников Б. Использование термобарической энергии глубоких недр и создание таких очагов V. Гидротехнология А. Извлечение различных полезных ископаемых, растворенных в подземных водах (в том числе и природных газов) Б. Интенсификация в недрах процессов обогащения подземных вод полезными ископаемыми VI. Тафротехнология А. Создание подземных хранилищ газа и нефти и захоронение промышленных стоков Б. Проведение вредных для экологии производственных процессов под землей VII. Динамическая техногеология А. Изменение рельефа земной поверхности и дна акваторий, ослабление интенсификации извержений грязевых вулканов, предотвращение мелкофокусных землетрясений и т. д. Б. Предотвращение катастрофических извержений лавовых вулканов, торможение карстообразования. Биологическая защита берегов и ликвидация естественных водоемов и т. д. VIII. Природоохранная техногеология А. Выполнение всех требований законов о недрах, контроль за техническими действиями в недрах, могущими вызвать катастрофы и бедствия (землетрясения, сели, оползни, карсты и т. д.) Б. Совершенствование законодательства и методов контроля IX. Геоника А. Искусственное производство минералов и материалов на базе моделирования естественных процессов Б. Создание новых композиционных материалов из естественного сырья	Использование достижений фундаментальных, естественных и технических наук для создания новых методов и совершенствования существующих Наиболее полное извлечение из недр всех нафтидов Наиболее полное извлечение из недр твердых полезных ископаемых Использование геотермической и барической энергии недр Использование полезных ископаемых, содержащихся в подземной гидросфере Захоронение и сохранение в недрах полезных и вредных веществ Изменение направлений и скоростей развития некоторых геологических процессов Охрана недр и предупреждение нежелательных последствий техногенеза: техногенных землетрясений, опускания или подъема земной поверхности и дна водоемов, проникновения в атмо- и гидросферу токсичных и вредных веществ (газа, нефти, ртути и др.) Искусственное производство минералов и различных материалов путем моделирования естественных процессов

ре увеличения глубины скважин возможности использования подземных вод как источников минерального сырья существенно расширяются, так как эти воды и в платформенных, и в складчатых областях содержат в растворенном состоянии огромное число элементов и их соединений в промышленных концентрациях [12].

Возрастает использование земной коры для временного или постоянного захоронения полезных ископаемых и промышленных стоков, или тафrogenная техногеология. Эффективность подобных операций может быть существенно повышена, если их производить комплексно, совмещая с операциями по нафтотехнологии или гидротехнологии. Анализируя пути развития тафrogenной техногеологии, следует учитывать, что вследствие усиления экологических мероприятий тенденции к захоронению стоков и, возможно, даже перемещению вредных производств в земную кору будут усиливаться.

Анализ последних достижений в различных отраслях геологии позволяет определить возможность развития еще одного направления — динамической техногеологии. Это направление заключается в создании методов управления динамическими процессами, происходящими в земной коре: изменения рельефа земной поверхности и дна акваторий, ослабление интенсивности извержений грязевых вулканов, предотвращения мелкофокусных землетрясений и т. д.

Существует и развивается направление, которое не вписывается в сложившуюся иерархическую систему геологических наук, но которое лучше всего включить в техногеологию — это охрана недр. Вероятно, его целесообразно назвать природоохранной техногеологией. Еще В. И. Вернадский почти полвека назад предвидел возможные последствия влияния человека на геологическую среду, поддерживал предложение Ле Руа о выделении понятия ноосферы как современной стадии развития биосферы.

Хотя мероприятия, направленные на охрану недр, предусмотрены соответствующими законодательными актами [6, 8], по нашему мнению, это законодательство нуждается в совершенствовании. Так, в статье 33 Кодекса

РСФСР о недрах записано: «Основными требованиями в области охраны недр являются... предотвращение загрязнения недр при подземном хранении нефти, газа, прочих веществ и материалов, захоронении вредных веществ и отходов производства, сбросе сточных вод» (с. 24). Однако это требование невыполнимо, поскольку сама закачка в недра указанных флюидов безусловно приводит к их загрязнению. Более того, в статье 39 предусматривается учет полезных ископаемых в государственном балансе, а статьи, обязывающей фиксировать извлечение пластовых вод, закачку в недра различных флюидов, в указанном документе нет; предусмотрен лишь учет участков недр, предоставленных в пользование, не связанное с добычей полезных ископаемых. Но закачивать флюиды в недра могут и в пределах месторождений.

Представляется целесообразным наряду с государственными кадастрами и балансами запасов полезных ископаемых ввести и государственный баланс всех флюидов, извлекаемых и нагнетаемых в земную кору, а также всех пунктов технологических мероприятий, связанных с воздействием на земную кору, в том числе и на ее поверхность.

Нарушение равновесия флюидов в недрах нередко приводит к катастрофам: землетрясениям (Мексика, побережье Мексиканского залива, Калифорния, Апшеронский полуостров, Западная Сибирь), опусканию поверхности суши и дна водных бассейнов (Калифорнийские нефтяные месторождения, Апшеронский полуостров, Экофиск в Северном море и др.). Поскольку землетрясения, оползни, селевые потоки и другие бедствия могут быть связаны с деятельностью человека (создание водохранилищ, изменение уровня воды в естественных водоемах), то, очевидно, в законодательство об охране недр должно войти и проведение на поверхности мероприятий, предотвращающих подобные процессы.

По аналогии с бионикой направление, связанное с синтезом минералов и материалов на основе моделирования природных процессов, целесообразно назвать геоникой. Оно должно включать и минералогическую технологию,

и контактировать с химической технологией, особенно в области создания композиционных материалов, в первую очередь, типа керамических и др.

Перечисленные направления при всей своей актуальности все же в большей мере связаны с соответствующими науками — нефтегазовой геологией, горным делом и т. д., чем с техногеологией. В техногеологии главным должно быть создание теоретических и совершенствование методических основ, поскольку это может обеспечить «качественный скачок» — появление новых способов и методов воздействия на земную кору и извлечение полезных ископаемых. Более того, теоретические и методические разработки окажутся объединяющими и соответственно обогащающими все прикладные направления.

Большинство применяющихся в настоящее время техногеологических методов создавались на экспериментальной основе, исходя из требований соответствующих отраслей добывающей промышленности. Благодаря научно-техническому прогрессу, в частности достижениям в фундаментальных науках, постоянно возникают возможности создания новых методов воздействия на земную кору, существенно возрастает мощность технических средств. Так, сравнительно недавно предельные глубины проникновения в земную кору не превышали 6—7 км, в последние годы они возросли вдвое — до 12 км.

Используемые в техногеологии методы воздействия на земную кору разнообразны по своей природе и целевому назначению (табл. 2). Не все перечисленные методы имеют достаточно полное теоретическое обоснование, а некоторые из них в свете современных достижений фундаментальных наук нуждаются в пересмотре. Так, если методы фильтрации флюидов по проницаемым породам и гидроразрыва пластов имеют достаточно полное теоретическое обоснование, то нет теории прочности флюидоупоров в условиях естественного залегания в недрах, без чего не могут быть обоснованы и развиваться некоторые направления в техногеологии, например, захоронение промышленных стоков, создание подземных хранилищ газа и т. д.

Воздействие электрических и электромагнитных полей на повышение коэффициента нефтеотдачи установлено экспериментально, но теоретически не обосновано. Благодаря достижениям генной инженерии огромные возможности открываются для использования микробиальных методов извлечения многих полезных ископаемых (природных битумов, нефтей, золота и т. д.).

Трудно предусмотреть все возможности совершенствования методов и технологий, поскольку достижения в любой из наук, с которой связана техногеология, могут явиться основой для возникновения принципиально новых методов воздействия на земную кору и извлечения ископаемых. Однако из утверждения о целесообразности объединения рассматриваемых направлений в единое — техногеологию — не следует делать вывод о необходимости их полного «отрыва» от смежных наук — нефтегазовой геологии, горного дела и др. Вероятно, техногеология по своей структуре должна быть близка современной литологии: с одной стороны, это единая ветвь геологических наук, с другой — отдельные ее направления связаны с соответствующими ветвями наук — нефтегазовая литология, угольная литология и т. д.

Целесообразность связи отдельных направлений техногеологии с соответствующими смежными науками определяется тем, что эффективность воздействия на земную кору и извлечения полезных ископаемых существенно возрастает, когда учитываются и генетические факторы. Это подтверждает один из основателей геотехнологии В. Ж. Аренс [2]: «Нам, геотехнологам, необходимо «конструктивное» понимание генезиса и может быть не для того, чтобы вторить природе, а для того, чтобы понять его и воспроизвести обратный процесс в технологии добычи полезного ископаемого» (с. 6).

Техногеология находится на стыках нескольких групп наук: фундаментальных, естественных и технических. Из истории известно, что «качественные прорывы» наиболее вероятны именно на стыках различных наук. Эти обстоятельства позволяют считать, что техногеология обладает огромными потенциальными возможностями для такого прорыва, и последний необходим

Методы воздействия на земную кору, используемые в различных направлениях технологии

Методы воздействия	Минеральный каркас породы			Флюидная система в породах			Полезные ископаемые		
	Цель	Механизм	Направление применения*	Цель	Механизм	Направление применения	Цель	Механизм	Направление применения
<i>Физические</i>									
Барические Гидроразрыв	—	—	—	Повышение проницаемости	Гидроразрыв	II	—	—	—
Гидромеханическое	Освобождение полезных ископаемых	Дезинтеграция	III	—	—	—	Уменьшение размеров, частично захоронение и складирование нефти и газа	Дезинтеграция	III
Стабилизация давления	—	—	—	Предотвращение уплотнения	Сохранение параметров системы	VII	—	Закачка в пласты	VI
Снижение пластового давления	—	—	—	Получение барической энергии	Извлечение высоконапорных вод	IV	Предотвращение извержений грязевых вулканов	Снижение давления в газовом очаге	VII
<i>Термические</i>									
Повышение температуры	—	—	—	—	—	—	Перевод в жидкое состояние	Расплавление слесов, природных битумов	III
Понижение температуры	—	—	—	Получение тепловой энергии, закрепление грунтов	Извлечение горючих веществ, замораживание	IV, VII	—	Снижение вязкости нефти	II
Повышение температуры и давления	Создание материалов	Сплавление при высоких температурах и давлении	IX	—	—	—	Производство алмазов, полудрагоценных камней и др.	Моделирование природных процессов	IX
<i>Химические</i>									
Создание переменного электромагнитного поля	—	—	—	—	—	—	Повышение подвижности нефти	Вызов притока нефти к скважине	II
Горение	—	—	—	—	—	—	Перевод в подвижное состояние	Горение нефти, горючих сланцев, серы; обжиг пирита, халькопирита, антимонита и др.	II, III
Растворение	Повышение проницаемости	Растворение карбонатов	II	—	—	—	Добыча каменной калийной, магниевой, сульфаткарбонатов, соды, буры и др. Добыча целестина, азурита, куприта, урановых минералов, сфалерита, золота и др.	Растворение в воде	III
<i>Физико-химические</i>	Повышение проницаемости для добычи нефти и газа	Гидрокислотный разрыв	II	—	—	—	Добыча металлов	Растворение в серной, азотной кислотах, щелочах, в сернистом натрии и др.	III
<i>Биологические</i>	Ликвидация карста	Заполнение карстовых полостей	VII	—	—	—	Добыча нефти, золота и др.	Выщелачивание в электрических полях	II, III
Микробиотехнология	Укрепление берегов, создание искусственных островов	Разведение кораллов и других рифообразующих организмов	VII	—	—	—	—	Специально введенными бактериями	—

* Цифры соответствуют табл. 1.

для науки XXI века, так как именно техногеология должна обеспечить цивилизацию минеральными и естественными энергетическими ресурсами, предотвращать стихийные бедствия и катастрофы. Следовательно, чем скорее техногеология будет обособлена в самостоятельную область геолого-горных наук и в ней будут объединены пока стихийно и независимо развивающиеся ее отдельные направления, тем полнее они будут обогащать друг друга и скорее произойдет прорыв во многих областях.

В недрах Земли нет государственных границ, поэтому проникновение в них флюидов на территории одной страны может вызвать различные, в том числе и нежелательные последствия на территории смежных стран. Например, прорыв вредных растворов в подземный сток морей, озер и рек, закаченных в недра одной страны, может привести к отравлению соответствующих водных бассейнов, принадлежащих другим странам. В общем ситуация с охраной недр имеет международный характер, так же как с охраной воздушного и водных бассейнов.

В настоящее время целесообразно приступить к интернационализации различных техногеологических программ в рамках Международного геологического конгресса, создав соответствующий комитет и проводя периодически международные симпозиумы. Международное сотрудничество не только позволит повысить эффективность защиты земной коры, но и значительно ускорит развитие методов техногеологии, которая должна играть решающую роль в XXI веке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнс В. Ж. Геотехнология, настоящее и будущее // Проблемы геотехнологии. Доклады III Всесоюз. конф. по геотехнологиче-

- ским методам добычи полезных ископаемых. М., 1983. С. 3—5.
2. Арнс В. Ж. Скважинная добыча полезных ископаемых (геотехнология). — М.: Недра, 1986.
3. Гидрогеологические исследования для захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты / В. А. Боревская, И. Т. Гаврилов, В. М. Гольдберг и др. — М.: Недра, 1976.
4. Гаев А. В., Шугров В. В., Бутолин А. П. Подземные резервуары. Условия строительства, освоение и технология эксплуатации. — Л.: Недра, 1986.
5. Калинко М. К. Геология и геохимия нефтяных. — М.: Недра, 1987.
6. Кодекс РСФСР о недрах (с изменениями и дополнениями на 20 апреля 1987). — М.: Юридическая литература, 1987.
7. Минеев Г. Г. Биотехнология золота. — Иркутск, Иркутский политехнический ин-т, 1986.
8. Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах. Сборник руководящих материалов по охране недр при разработке месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1987.
9. Сидоренко А. В. Человек, техника, Земля (изучать земную кору как среду обитания и деятельности человека). — М.: Недра, 1967.
10. Синтез минералов. Т. 1, 2. — М.: Недра, 1987.
11. Строительство и эксплуатация рудников подземного выщелачивания / В. Н. Мосинев, Д. П. Любимов, М. Н. Телеев и др. — М.: Недра, 1987.
12. Уайт Д. Е., Андерсон Б. Т., Губбе Д. Е. О вероятном рудообразовании в магматическом рассоле и метаморфизирующихся породах, вскрытых глубокой скважиной в Калифорнии // Геохимия рудных месторождений. М., 1970. С. 167—171.
13. De Nevi Don. Earthquaks. Millbral. California, Celestial Arts, 1977.
14. Geopressured-geothermal energy. Ed. M. N. Dorfmann, R. A. Morton. Texas, Pergamon Press, 1987.
15. Human activity and environmental processes. Ed. K. J. Gregory, D. E. Walling. Chichester, John Wiley and Son, 1987.

Принята редколлегией 26 января 1988 г.

М. Н. ДЕНИСОВ (ВИЭМС)

Назначение запасов различных категорий месторождений твердых полезных ископаемых

Запасы полезных ископаемых, в первую очередь, служат для перспективного планирования развития горнодобывающих отраслей народного хозяйства, обоснования возможности и целесообразности проведения предварительной и детальной разведки, проектирования строительства горнодобывающих предприятий и использования промышленности. В основу создания первых классификаций запасов была положена степень их изученности в соответствии с задачами геологоразведочных работ, вскрытием и отработкой месторождений.

В одной из первых классификаций, разработанной Ф. Аргилем (1903), запасы подразделялись на три группы: 1) подготовленная (вскрытая) руда; 2) подготавливаемая (вскрываемая) руда; 3) ожидаемая руда — перспективные запасы вне границы видимой руды, обоснованные геологической характеристикой.

Классификация Т. К. Гувера (1909) основывалась на степени достоверности выделенных категорий запасов: 1) установленная руда, количество и качество которой выявлены с достаточной точностью; 2) вероятная руда, сведения о количестве и качестве которой могут в известных пределах отличаться от истинных значений и требуют дальнейшего уточнения; 3) возможная руда, сведения о которой имеют ориентировочный характер. Она широко использовалась при разработке классификаций запасов большинства развитых капиталистических стран, применяемых в настоящее время.

В классификации, утвержденной Госпланом СССР в 1933 г., выделены пять категорий запасов, каждая из которых предназначалась для определенных целей.

A₁ — изученные, разведанные и подготовленные к добыче запасы, для расчетов эксплуатационных работ предприятия.

A₂ — изученные и разведанные, для проектирования и строительства горнодобывающих предприятий.

B — геологически обоснованные, относительно разведанные и частично оконтуренные, для обоснования проектирования капитального строительства заводов и предприятий.

C₁ — установленные по естественным и редким искусственным обнажениям или геофизическим данным, для постановки детальных геологоразведочных работ и перспективных планов промышленности.

C₂ — запасы, относимые к целым районам, бассейнам или месторождениям, определенные на основании геологического прогноза, для перспективного планирования народного хозяйства, в том числе геологоразведочных работ.

Этот принцип построения, когда каждая категория запасов предназначалась для определенных целей, нашел наиболее полное отражение в проекте классификации, разработанной АН СССР в 1939 г. Всего были выделены шесть категорий запасов — A₁, A₂, B₁, B₂, C₁ и C₂. В соответствии с назначением каждой из категорий предполагалось, что в результате проведения поисковых работ будут получены запасы категорий C₂, поисково-разведочных работ — C₁, предварительной разведки — B₁, B₂, а на сложных месторождениях — C₁, детальной разведки в зависимости от сложности месторождения — B₁ или A₂, эксплуатационной разведки — A₂ и A₁.

Однако попытка увязать группы запасов со стадиями не соответствовала практике проведения геологоразведочных работ и промышленному освоению месторождений. Как указывал В. М. Крейтер (1940), невозможно строго регламентировать для каждой стадии работ подсчет запасов по той или иной категории. Подсчет запасов высокой категории сопровождался обычно подсчетом и всех более низких. Однако соотношение запасов различных категорий, которое отвечало бы задачам той или иной стадии геологоразведочных работ, в проекте классификации АН СССР не оговаривалось, что по

сути дела исключало ее практическое использование.

В последующих классификациях назначение категорий запасов было сведено к подготовке месторождений к промышленному освоению. Разведанные месторождения (участки) считаются подготовленными для промышленного освоения, когда утвержденные в установленном порядке запасы имеют определенное соотношение различных категорий. Этот же принцип назначения запасов разных категорий отражен в классификациях других социалистических стран.

Отсутствие назначения отдельных категорий в классификации привело к тому, что само соотношение запасов различных категорий в качестве обязательного условия подготовки месторождения к промышленному освоению лишалось научной основы. При этом происходили значительные изменения в соотношениях запасов по мере разработки и утверждения новых классификаций (1953, 1960, 1981 г.). Существенные различия в необходимом соотношении различных категорий применительно к месторождениям одного и того же типа отмечается и в классификациях других социалистических стран. Так, для месторождений простого геологического строения соотношение (в процентах) категорий А, В и С₁ установлено в ЧССР 5:25:70, в НРБ и ПНР—10:20:70, в ВНР—30:50:20, в СФРЮ для месторождений меди первой группы—20:30:50.

Такое построение классификации, когда отсутствует назначение каждой из выделенных категорий запасов, затрудняет обоснование требований к их изученности и дальнейшему использованию при планировании развития минерально-сырьевой базы, проектировании горнорудного предприятия и эксплуатации месторождений. Каждый раз при очередном пересмотре действующей классификации разгораются дискуссии между различными ведомствами о рациональной степени изученности запасов той или иной категории. При этом горнодобывающие министерства зачастую исходят из узковедомственных интересов, добиваясь максимально возможной изученности в ущерб общенародным интересам. Направленность действующей классифи-

кации только на подготовку месторождений к промышленному освоению на основе соотношений запасов различных категорий привела к тому, что она не получила дальнейшего развития применительно к эксплуатационным работам. Так, в классификации по степени подготовленности к добыче на месторождениях первой группы к подготовленным относятся запасы категории А, второй группы—А и частично В, третьей группы—А, В и С₁.

Определенные трудности существуют при планировании и финансировании геологоразведочных работ при доразведке эксплуатирующегося объекта. На месторождениях первой и второй групп, где классификацией предусмотрена разведка части запасов по категории В, перевод их из категории С₁ в В при доразведке осуществляется за счет средств госбюджета, при этом, как правило, решается и ряд вопросов эксплуатационной разведки. Так, на Белоусовском полиметаллическом месторождении, относящемся ко второй группе классификации ГКЗ СССР, при переводе запасов из категории С₁ в В расстояние между разведочными профилями было принято 60 м, а между скважинами в разрезах 10—12,5 м. Тем самым решались вопросы, непосредственно связанные с отработкой рудных тел,— уточнялись отдельные детали элементов залегания, границы сортов руд и т. п. Согласно существующим положениям только затраты на проходку разведочно-эксплуатационных шахт и других выработок эксплуатационного сечения относятся на баланс предприятия и отражаются в составе основных средств. Все прочие работы по доразведке в этом случае финансируются за счет операционных средств госбюджета.

Еще сложнее обстоит дело на месторождениях третьей группы, где затраты по доразведке запасов категории С₁ вообще не имеют какой-либо логической связи с существующей классификацией.

На месторождениях первой и второй групп наличие запасов категорий А и В не оказывает существенного влияния на проектирование горнодобывающего предприятия. Так, проектирование рудника на Анненском участке Джезказганского месторождения, ко-

торое относится к первой группе, было осуществлено без запасов категории А, на месторождениях второй группы, как правило, отмечаются отклонения в соотношениях запасов категорий В и С₁ без ущерба для последующего проектирования.

Учитывая особенности проведения геологоразведочных работ, проектирования и деятельности горных предприятий, предлагается следующее назначение категорий запасов.

Категория А—для текущего планирования горнодобычных работ.

Категория В—для оперативного (пятилетнего) планирования горно-подготовительных и горнодобычных работ; для месторождений второй группы, кроме того, для текущего планирования, как и категории А.

Категория С₁—для составления технических проектов и обоснования капитальных вложений в строительство предприятий по добыче полезных ископаемых; для месторождений третьей и четвертой групп, кроме того, для текущего и среднесрочного планирования, как категорий А и В.

Категория С₂—для планирования геологоразведочных работ, перспектив развития предприятия по добыче полезного ископаемого, полного или частичного использования при его проектировании.

При указанном выше назначении категорий запасов положение о соотношении различных категорий при подготовке месторождений твердых полезных ископаемых к промышленному освоению сохраняется только для месторождений, освоение которых намечается непосредственно после завершения детальной разведки, как фактор, сокращающий сроки начала разработки. Участок месторождения, который предстоит разведать по высо-

ким категориям; а также соотношение категорий запасов в этом случае надлежит согласовать с проектным институтом и отразить в протоколе-заказе на проведение детальной разведки. Финансирование разведки запасов по категориям А и В осуществляется за счет капитальных вложений, так как она непосредственно связана с планированием горно-подготовительных и горнодобычных работ.

Если время освоения месторождения конкретно не определено и лишь установлено, что оно будет осуществлено в ближайшие 10—15 лет, на месторождениях первой группы не должны выявляться запасы категорий А и В, а на месторождениях второй группы—категории В. Разведку запасов этих категорий следует производить после принятия решения об освоении месторождения одновременно с проектированием предприятия по добыче полезного ископаемого. Геологоразведочные работы финансируются за счет капитальных вложений, как и все последующие работы по переводу запасов категории С₁ в А и В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов М. Н. Повышение эффективности и качества разведки месторождений твердых полезных ископаемых // Сов. геология. 1987. № 11. С. 45—50.
2. Инструкции по применению классификации запасов к месторождениям.— М.: ГКЗ СССР, 1983.
3. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых.— М.: ГКЗ СССР, 1982.
4. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых.— М.: Госгеолтехиздат, ч. I, 1960; ч. II, 1961.
5. Методические указания о проведении геологоразведочных работ по стадиям (твердые полезные ископаемые).— М.: ВИЭМС, 1984.

Принята редколлегией 30 января 1989 г.



О „случайном“ бурении в нефтегазоносных областях

Поиск геологического объекта начинается с теоретической концепции, или априорной геологической модели [2, 10], задающей основные идеи его конструкции и специальный язык его описания и исследования (семантику, синтаксис и прагматику). Вся последующая работа независимо от того, как она выполняется в процессе поиска — экспериментально или теоретически, направлена на снижение уровня неопределенности параметров априорной геологической модели. Как разность неопределенностей (энтропий) априорной и апостериорной геологических моделей приобретает в итоге необходимая дополнительная геологическая информация [13], позволяющая найти месторождение. В идеале, рисуемом математической геологией [6], априорная геологическая модель будет, по-видимому, задаваться системой уравнений в частных производных, а снижение уровня неопределенности априорной геологической модели, т. е. поиск месторождения в этом случае будет осуществляться решением указанной системы при определенных эмпирически заданных краевых и начальных условиях. Но это — возможное будущее.

В настоящее время при поисках нефтяных и газовых месторождений для снятия неопределенности поисковых параметров априорной геологической модели широко используется геофизический эксперимент — главным образом методы сейсморазведки. Однако геологическая интерпретация геофизического эксперимента характеризуется некоторой собственной неопределенностью, коренящейся в физических принципах метода геофизической разведки. На больших глубинах в сложных геолого-геофизических ситуациях эта неопределенность может оказаться настолько значительной, что геофизический эксперимент утратит геологическую информативность, несмотря на самую современную технику его вы-

полнения и последующей математической обработки. Иными словами, независимо от того, как размещаются поисковые скважины на нефтегазоперспективной площади — на основе исключительно априорных геологических представлений или априорная геологическая модель уточняется и детализируется геофизическим экспериментом, — в любом случае результат (прогноз) оказывается не строго детерминистическим, а вероятностным, ибо на пути к конечной цели в сложных геолого-геофизических ситуациях те или иные решения всегда приходится принимать на недостаточно строгом, эвристическом уровне, т. е. делать один или несколько строго не детерминированных, по существу, случайных выборов среди ряда равноправных вариантов. При работе непосредственно с априорной геологической информацией нежесткая детерминированность, свобода и фантазия выбора предопределяются логической мягкостью (многовариантностью) [6] самого геологического языка, и этот факт никогда не оспаривается. При использовании же геофизических данных (вследствие господства среди естествоиспытателей легенды об абсолютной непротиворечивости всех математических построений и доказательств [4]) неопределенность и произвольность выбора часто в расчет не принимаются и обнаруживаются только в конечных результатах геологической интерпретации.

Так, на протяжении последних десятилетий, несмотря на очевидное неуклонное совершенствование методов сейсморазведки, по большинству нефтегазоносных районов СССР стабильно удерживалась одна и та же статистика: из 100 пробуренных по данным детальной структурной сейсморазведки поисковых скважин промышленно-продуктивными оказывались в среднем только 30—33 [5, 11]. Более того, американские геологи установили [14], что на протяжении почти 100 лет с мо-

мента заложения первых поисковых скважин результативность поисков нефти на территории США, несмотря на применение постоянно совершенствующейся геолого-геофизической науки, была такой, какой она могла бы быть, если бы поисковые скважины задавались на указанной территории наудачу, случайным образом. Ретроспективное разбуривание указанного региона наугад имитировалось в данном случае моделированием на ЭВМ [14]. В создавшейся ситуации представляет практический интерес общее теоретическое исследование потенциальных возможностей «случайного» бурения как автономного метода поисков углеводородов, задающего тот начальный уровень результативности, с которым естественно сравнивать результативность и рентабельность всех других, более технически и наносящих больший экологический ущерб методов.

Информационная несоразмерность традиционных высокотехнологичных методов поисков углеводородов, используемых для определения мест заложения поисковых скважин, детальные структурно-геофизические данные, и случайного бурения, не привлекающего эти данные, кажущаяся. В обоих методах приходится прибегать к логически нестрогости, случайному выбору среди ряда равноправных вариантов. В первом, традиционном методе такой случайный выбор делается неоднократно, на всех этапах поисков, во втором — один раз, на конечном этапе, при указании места заложения поисковой скважины. Такая замена позволяет непосредственно и автономно управлять энтропией, а следовательно — геологической информативностью (результативностью) поискового бурения, возвращая последнему положение самодостаточного метода поисков месторождений углеводородов.

В настоящей статье практические возможности и перспективы такого нетрадиционного подхода к поискам углеводородов исследуются теоретически. На основе определенного запаса априорных геологических представлений строится априорная вероятностная геологическая модель нефтегазоносного бассейна, на которой ставится мысленный (воображаемый) эксперимент — бурение произвольно (наудачу)

заданной поисковой скважины. Выводятся и анализируются простые теоретические соотношения, позволяющие дать априорную оценку: 1) коэффициента удачи случайного бурения (КУСБ) — вероятности случайного попадания поисковой скважины хотя бы в одну промышленно-продуктивную сводовую структуру; 2) количества произвольно заданных скважин, гарантирующих с наперед заданной вероятностью обнаружение залежи — в зависимости от характера тектоники нефтегазоносного бассейна, степени его нефтегазонасыщенности и числа этажей промышленной нефтегазоносности. На этой основе анализируются поисковые возможности и перспективы промышленного использования автономного стохастически управляемого равномерного размещения поисковых скважин на нефтегазоперспективных площадях как одной из равноправных и в то же время наиболее универсальных и технологичных реализаций процесса случайного размещения скважин на площади.

Вероятностные модели сводового нефтегазонакопления. Построим мысленно идеализированную формальную модель нефтегазоносного бассейна платформенного, классически структурно-сводового типа [10]. Рассмотрим сначала самый простой случай, когда унаследованность структурных планов различных этажей нефтегазоносности отсутствует, т. е. все глубинные структурные планы региона не зависят друг от друга. Проанализируем несколько геотектонических ситуаций: идеальную (модель I), реалистичную (модель II), малоблагоприятную (модель III).

Модель I. Складки различного ранга заполняют (без какой-либо видимой закономерности, для внешнего наблюдателя — случайно) каждый из этажей нефтегазоносности. В плане на каждом структурном этаже половина всей опосредуемой площади приходится на антиклинальные структуры.

Модель II. В горизонтальном сечении каждого структурного этажа только четверть общей площади приходится на сводовые структуры.

Модель III. В горизонтальном сечении каждого из этажей нефтегазоносности соответственно только 1/8 часть

поисковой площади приходится на сводовые структуры.

Опыт поисков углеводородов показывает, что в нефтегазоносных регионах в настоящее время, как и много десятилетий назад, из 100 пробуренных по данным детальной структурной сейсморазведки глубоких скважин продуктивными оказываются в среднем не более 33 [5, 11]. Многолетняя устойчивость и широкая распространенность указанного среднего значения позволяет принять его в качестве некоторой феноменологической константы, характеризующей остаточную неопределенность априорной геологической модели сводового нефтегазонакопления, не снимаемую структурно-геофизическим экспериментом. По способу ее получения указанная «магическая» константа относится не к той или иной единичной антиклинальной структуре, а к скважине в целом, т. е. к объединению (в теоретико-множественном смысле) всех тех сводовых структур, которые пересекает скважина на различных этажах нефтегазоносности. Значение $K_n=0,33$ принимается, таким образом, в качестве вероятности случайного события, состоящего в том, что хотя бы (т. е. не менее чем) одна из антиклинальных структур, встреченных произвольно заданной поисковой скважиной, окажется промышленно продуктивной. В соответствии с

этим определением $\check{K}_n$ запишем:

$$\check{K}_n = 1 - (1 - K_n)^m. \quad (1)$$

Отсюда следует

$$K_n = 1 - (1 - \check{K}_n)^{1/m}. \quad (1')$$

Здесь K_n — коэффициент продуктивности собственно единичной сводовой структуры, т. е. вероятность случайного события, состоящего в том, что встреченная скважиной структура окажется продуктивной; m — число этажей (комплексов) промышленной нефтегазоносности, пересекаемых скважиной.

Резонно допустить, что основная масса поисковых скважин в нефтегазоносных регионах СССР [3], дающих обсуждаемый интегральный результат

$K_n=0,33$, пересекает не более четырех этажей нефтегазоносности. Осреднение значений K_n для $m=1-4$ дает $\langle K_n \rangle_{1-4} = 0,18$. Полученный результат при его геометрической интерпретации позволяет привязать описанные формальные модели к геологической реальности, дав оценку той части общей площади каждого этажа нефтегазоносности всех построенных моделей, которая промышленно продуктивна. В модели I — это 9 % общей площади нефтегазоносного бассейна, в модели II — 4,5 %, а в модели III — 2,25 %. Стягивая всю площадь нефтегазоносного бассейна до размеров одной сводовой структуры, возвращаемся к оценке той части ее площади, которая в рассматриваемых моделях собственно продуктивна (18 %). Полученные оценки хорошо согласуются с геологической реальностью [1].

Коэффициент удачи и управления эффективностью случайного бурения.

Проведем на описанных формальных моделях нефтегазоносного бассейна такой мысленный эксперимент. Пусть на площади нефтегазоперспективного района в произвольно выбранной точке задается поисковая скважина. Как ясно из геометрических соображений, в этом случае вероятность случайного попадания поисковой скважины в антиклинальную структуру на каком-либо одном (любом из m) этажах нефтегазоносности составит: для первой модели $p_{nI}=1/2$, для второй $p_{nII}=1/4$, для третьей $p_{nIII}=1/8$. Вероятность случайного попадания произвольно заданной поисковой скважины после пересечения m этажей промышленной нефтегазоносности хотя бы (т. е. не менее чем) в одну промышленно-продуктивную сводовую структуру (назовем эту вероятность коэффициентом удачи случайного бурения — КУСБ) определится следующим соотношением

$$\check{P}_n = \check{K}_n [1 - (1 - p_{ni})^m], \quad (2)$$

где $i=I, II, III$ — указывает на избираемую модель нефтегазоносного бассейна. Анализируя влияние унаследованности структурных планов различных этажей нефтегазоносности на КУСБ, когда структурная унаследо-

ванность наблюдается на l из общего числа m комплексов нефтегазоносности ($l \leq m$), приходим, учитывая соотношение (1), к следующей общей формуле

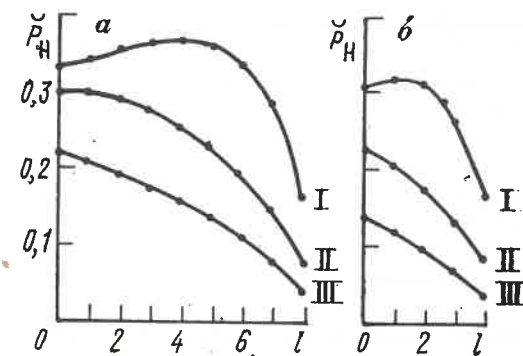
$$\check{P}_{ni} = 1 - \{1 - \check{K}_n [1 - (1 - p_{ni})^{m-l}] \} \{1 - p_{ni} [1 - (1 - \check{K}_n)^{l/m}]\}. \quad (3)$$

При выводе формулы (3) использовалась та же логика вероятностных рассуждений, что и при выводе соотношений (1) и (2). Приведенные результаты получены для моделей нефтегазовых залежей сводового типа. Реальные бассейны нефтегазонакопления более сложны и разнообразны и помимо сводовых содержат еще тектонически экранированные и неструктурные залежи. Учет этого фактора увеличит приведенные оценки КУСБ. Как показывает анализ зависимости (3), унаследованность структурных планов различных этажей нефтегазоносности в некоторых случаях тоже приводит к увеличению КУСБ (рисунок).

Рассмотрим несколько практических примеров (см. рисунок). В Волго-Уральской нефтегазоносной провинции ($m=8$) с ее малоамплитудными сводовыми структурами большого диаметра [2], локализация которых геофизическими методами до сих пор представляет собой серьезную техническую проблему, случайное бурение на впервые осваиваемых нефтегазоперспективных площадях можно рассматривать, по видимому, как автономный метод поисков нефтегазовых залежей, ибо здесь даже без учета возможности встречи скважинами неструктурных

залежей $\check{P}_n=0,3$ на моделях с реалистичной геометрией (при оценке размера сводовой структуры последнюю следует учитывать целиком — до ее замыкания). К не менее оптимистичным прогнозам приводит и рассмотрение поисковой ситуации в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [3]. В Днепровско-Донецкой нефтегазоносной области ($m=4$) [1, 3] — ситуация для случайного бурения менее благоприятна.

Обобщая формулу (3) на все множество скважин, размещаемых на неф-



Зависимость коэффициента удачи случайного бурения $\check{P}_n$ от глубины l структурной унаследованности нефтегазоносного бассейна:

а — Волго-Уральская и Западно-Сибирская нефтегазоносные провинции ($m=8$); б — Днепровско-Донецкая нефтегазоносная область ($m=4$); модели: I — идеальная, II — реалистичная, III — малоблагоприятная

тегазоперспективной площади, получаем практически очень важное соотношение между количеством R_n скважин

и вероятностью $\check{P}_n$ случайного обнаружения не менее чем одной из них не менее одной промышленно-продуктивной сводовой структуры:

$$\check{P}_n = 1 - (1 - \check{P}_{ni})^{R_n}. \quad (4)$$

Откуда

$$R_n = \frac{\lg(1 - \check{P}_n)}{\lg(1 - \check{P}_{ni})}. \quad (5)$$

Этот результат позволяет, используя только априорную региональную геолого-геофизическую информацию, теоретически рассчитать ту минимальную плотность R_n сети поисковых скважин, которая с наперед заданной вероятностью $\check{P}_n$ гарантирует обнаружение не менее одной залежи на обследуемой нефтегазоперспективной площади.

Все комбинаторные варианты, возможные в рассматриваемой поисковой задаче, описываются математической моделью испытаний Бернулли с биномиальным распределением вероятностей для каждого фиксированного числа продуктивных скважин [13]. Отсюда следует, что среднестатистическое решение поставленной задачи (продуктивность не менее одной

поисковой скважины) обеспечивается $(\bar{P}_n)^{-1}$ скважинами [13]:

$$\langle R_n \rangle = (\bar{P}_n)^{-1}. \quad (6)$$

Разлагая функцию (4) в степенной ряд, можно обнаружить, что указанному среднестатистическому соответствует $\bar{P}_n \geq 0,7$.

Таким образом (см. рисунок), если в Волго-Уральской и Западной-Сибирской нефтегазовых провинциях случайное обнаружение месторождения среднестатистически гарантируется тремя-четырьмя произвольно размещенными поисковыми скважинами, то в Днепровско-Донецкой впадине для этой цели потребуется пять таких скважин. Среди всего множества произвольных (случайных) размещений глубоких скважин на поисковой площади выбирается практически оптимальное. Таким качеством, очевидно, обладает размещение скважин по равномерной сети, сводящее к минимуму возможность пропуска залежи, не содержащее «точек сгущения» случайных поисковых скважин и технологически наиболее простое и гибкое.

Априорные вероятности (2), (3) дают рациональное объяснение уже упоминавшихся «необъяснимых» результатов, полученных при изучении эффективности нефтегазразведки на территории США [14]. На протяжении всего периода с 1880 по 1965 г. эта эффективность (измеряемая количеством нефти на 1 хабберт пробуренных поисковых скважин) совпадала с эффективностью, которую могло бы обеспечить разбуривание рассматриваемого нефтеносного региона случайно, наудачу [14]. Парадоксальность данного результата вынуждала либо признать его ничего не значащим, не имеющим никаких оснований где-либо еще раз повториться случайным совпадением, либо согласиться с тем, что миром управляют «законы Паркинсона» (в том смысле, что как бы человек усердно не трудился, суммарный итог всех его усилий все равно будет нулевым). Х. Менард [14] признал указанный результат не относящимся к существу дела невероятным курьезом.

В свете выполненного выше анализа обсуждаемый парадоксальный ре-

зультат, однако, наоборот, вполне закономерен, статистически устойчив и поэтому практически чрезвычайно поучителен. Углеводороды связаны с положительными структурами, считающимися основным источником и резервом нефтегазодобычи [5, 10], не жесткими причинно-следственными связями, а только слабокорреляционно (с точностью до случайности) или, как было показано, с вероятностью преимущественно 0,18.

Поэтому традиционная структурно-сводовая ориентация в развитии и совершенствовании нефтегазовой геофизики имеет свои естественные, диктуемые этой неопределенностью пределы, которые нельзя преодолеть усовершенствованием техники геофизической разведки и математической обработки геофизических данных.

Глубина математической проработки собственно структурных задач нефтегазовой геофизики достигла сегодня уровня, сравнимого с уровнем математики обеих теорий относительности. Но это тем не менее не привело к каким-то радикальным сдвигам в увеличении эффективности и надежности поисков углеводородов, ибо структурная неопределенность (энтропия) априорной модели разведываемого геологического объекта, снимаемая геофизическим экспериментом, была лишь малой частью ее общей неопределенности. Традиционный структурный геофизический эксперимент (как бы тонко он ни был поставлен и выполнен) малоинформативен в данном случае в принципе, по своему существу. И сколь бы ни глубока была его последующая математическая обработка, от нее без дополнительной эмпирической информации не следует ожидать чудес, она не сможет в данном случае принципиально ничего изменить. Дополнительную эмпирическую информацию, позволяющую повысить надежность и результативность поисков, дают «прямые поиски» углеводородов, ориентирующиеся на их «непосредственное», детерминистическое (с меньшей неопределенностью) видение в геофизических полях [7, 11, 12]. Однако и здесь есть свои проблемы, связанные с интенсивными помехами и неединственностью геологической интерпретации геофизических данных, нерешенность

которых снижает результативность прямых геофизических методов обнаружения залежи. В описанной ситуации энтропию априорной геологической модели нефтегазовой залежи в благоприятных обстановках ($m > 4$, $p \geq 1/4$) резонно снимать непосредственно поисковым бурением, не используя данных детальных геофизических съемок и соответственно обходя все проблемы, связанные с неединственностью (неопределенностью) их геологической интерпретации.

Итак, подведем основные итоги. Теоретические оценки КУСБ для главных нефтегазовых регионов СССР оказались близки к эмпирически известному значению [5, 11] (K_n 0,3—0,33) среднего коэффициента удачи поискового бурения, ориентированного на сводовые структуры, локализованные по данным детальной структурной сейсморазведки. Таким образом, обнаружилась удивительная закономерность: среднее количество поисковых скважин на перспективной площади, гарантирующее попадание не менее одной из них в нефтегазовую залежь, в благоприятной геологической ситуации ($m > 4$, $p \geq 1/4$) практически мало зависит от того, как задаются эти скважины на площади — по данным детальной структурной сейсморазведки или произвольно, без опоры на детальную структурно-геофизическую информацию.

Простая и естественная мысль: в случае большой неопределенности поисковых критериев разбуривать нефтегазоперспективную площадь равномерно — оказалась (при $m > 4$ и $p \geq 1/4$) в практическом отношении столь же продуктивной, как весь традиционный арсенал техноемких, обильнокомпьютеризованных и дорогостоящих детальных структурно-геофизических экспериментов, традиционно предшествующих поисковому бурению для управления его эффективностью, т. е. для определения мест заложения глубоких скважин. При этом априори (без использования данных детальной сейсморазведки) оказалось возможным определять минимальную плотность R_n равномерной сети поисковых скважин, гарантирующую с наперед заданной вероятностью обнаружение

на поисковой площади не менее одной залежи, и общее количество R_n скважин на площади, зависящее от ее размеров и планируемой интенсивности эксплуатации:

$$\begin{aligned} R_n &= E R_n; \\ s &= S/R_n; \\ d &= s^{1/2}, \end{aligned} \quad (7)$$

где: E — среднее ожидаемое (планируемое) число продуктивных скважин на исследуемой площади, определяемое на основе опыта поисковых работ на геологически аналогичных сопредельных площадях и априорной геологической информации по исследуемой территории; S — общая площадь опойсываемой территории; s — площадь единичной ячейки равномерной сети; d — расстояние между скважинами. Благодаря взаимной независимости всех случайных поисковых скважин их местоположения, рассчитанные таким путем, можно в достаточно широких пределах корректировать, учитывая дополнительную геологическую информацию и особенности естественного и техногенного рельефа опойсываемой площади. По той же причине последовательность бурения скважин в описываемой постановке произвольна и может управляться дополнительными (детерминистическими, если таковые имеются) соображениями.

Равномерные сети поисковых скважин по надежности и результативности с развиваемой здесь формальной точки зрения естественным образом подразделяются на три класса:

- 1) $R_n > 1/\bar{P}_n$ — высоконадежные поисковые сети первого класса, их прошлое использование станет реальным уже в самом ближайшем будущем;
- 2) $R_n = 1/\bar{P}_n$ — равномерные сети второго класса; их неравномерные детерминистические аналоги идентичной минимальной плотности традиционны для современной нефтегазразведки, использующей большие объемы детальной геофизики для определения мест заложения поисковых скважин;
- 3) $R_n < 1/\bar{P}_n$ — некондиционные сети, не обеспечивающие среднего уровня надежности поисков.

Важно еще раз подчеркнуть, что все приводимые выше количественные оценки и прогнозы строятся на основе наличной определенной априорной региональной геологической и геофизической информации (как эмпирической, так и концептуальной) — как итог ее формальной теоретико-вероятностной организации. Данные сейсмостратиграфической интерпретации временных разрезов по региональным профилям МОВ—ОГТ [8], опыт геологических исследований в сопредельных регионах и теоретические концепции геологической науки являются необходимой предпосылкой поискового «случайного» бурения, ориентирующей исследователя в ограничении площади поисков, выборе адекватной геометрии модели нефтегазоносного бассейна (т. е. вычислении геометрических вероятностей p), оценке числа этажей нефтегазоносности и степени их структурной унаследованности.

В благоприятной сейсмогеологической обстановке ($m > 4$, $p \geq 1/4$) промышленное внедрение равномерных сетей второго класса могло бы уже сейчас уменьшить общие расходы на поиски нефтегазовых месторождений на 10—20 % за счет существенного сокращения объемов дорогостоящих детальных сейсморазведочных работ, традиционно предшествующих поисковому бурению для определения пунктов заложения глубоких поисковых скважин на исследуемой площади (соотношение стоимости геофизической подготовки структур и глубокого бурения взято по данным работы [12]).

Сознательное вовлечение в процесс поисков нефтегазовых залежей фактора случайности обогатит поисковое бурение и некоторым совсем новым качеством. Инициатива традиционно-причинного бурения всегда ограничена горизонтом господствующих в данное время в геологической науке идей [15]. При этом, как правило, совершенно не принимается в расчет, что иные, более широкие и радикальные идеи могут высветить в геологическом пространстве — времени и совершенно иные, возможно даже радикально иные, невидимые сквозь призму привычных взглядов, промышленно важные объекты. Случайное бурение, не дожидаясь доказательств исторической ограничен-

ности («спектральной избирательности») той или иной геологической идеи или теории, преодолевает ее поисковые запреты и регулятивы практически, опережая длинные, растягивающиеся на годы логические цепочки теоретических обоснований.

Есть здесь и другой, не менее интересный метатеоретический момент, приобретающий практическое значение в связи с наметившейся тенденцией к формализации и аксиоматизации наук геологического цикла [6]. Проблема теоретического прогноза и поискового бурения залежей углеводородов сопрягается с самыми глубокими результатами современной теории логического вывода, содержащимися в теореме Гёделя о неполноте [7]. Во всякой замкнутой дедуктивно-аксиоматической теории, сколь бы совершенной она ни была, существуют недоказуемые ее собственными средствами, недостижимые для ее логики, логически невыводимые из ее основополагающих постулатов, но в то же время выражимые в ее языке интуитивно убедительные глубокие утверждения [8].

Это принципиальное ограничение возможностей формально-логического открытия глубоких истин всецело распространяется на гипотетико-дедуктивные (историко-генетические) теоретические построения и прогнозы геологических наук, а следовательно — и на причинное размещение поисковых скважин на исследуемой территории. В то же время «случайное» бурение (и в частности, бурение по равномерной сети) свободно от гёделевских ограничений геологических наук и ограничивается только уровнем непосредственных возможностей и перспектив техники бурения. Последние зависят уже не от геологических наук, а от современных технологий и соответственно от совсем других наук, фактуальная и концептуальная база которых развивается значительно быстрее [6]. Поэтому результативность случайного поиска залежей углеводородов в реалистичной постановке может даже превзойти построенные оптимистические прогнозы. Однако не противоречат ли подобные надежды на конструктивную роль случая закону сохранения информации или, иными словами, не возникает ли здесь информация

о строении и вещественном составе глубинных недр Земли из ничего? Нет. В рассматриваемом случае сама априорная геологическая модель разведываемого объекта содержит дополнительную информацию (в данном случае метагеологическую) о своей историчности, т. е. о своей неизбежной, предметной и структурной ограниченности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины/Под ред. Ю. А. Арсирия, В. А. Витенко, А. М. Палия, А. К. Цыпко.— Киев: Мингео УССР. 1984.
2. Геодинамика. Геофизика океана/О. Г. Сорохтин, А. С. Монин, В. Е. Хаин, Л. П. Зоненшайн.— М.: Наука, 1979. Т. 2.
3. Дикенштейн Г. Х., Максимов С. П., Семенов В. В. Нефтегазоносные провинции СССР: Справочник.— М.: Недра, 1983.
4. Клайн М. Утрата неопределенности.— М.: Мир, 1984.
5. Кунин Н. Я. Подготовка структур к глубокому бурению для поисков залежей нефти и газа.— М.: Недра, 1981.

УДК 553.9

Б. В. СМЕРНОВ (ВНИГРИУголь)

Актуальные проблемы геологии и разведки угольных месторождений

По общему количеству разведанных и оцененных ресурсов угля (более 6,8 трлн т) наша страна вышла на первое место в мире [9], что свидетельствует о несомненных достижениях геологической службы, но само по себе не исчерпывает всех задач, связанных с созданием эффективной сырьевой базы угольной промышленности. В современных условиях все чаще начинают действовать разнообразные факторы, определяющие необходимость комплексного, во многих отношениях нетрадиционного подхода к проведению геологоразведочных работ на уголь. Это порождает систему актуальных ресурсно-геологических, геолого-экономических, горно-геологических, геолого-технологических, геолого-экологических, технических проблем, выявление и разработка которых имеют важное значение для обеспечения эф-

6. Лоссовский Е. К. Структура научного знания и перспективы математизации геологии//Геофиз. журн. 1984. № 4. С. 32—44.
7. Лоссовский Е. К. Разведка углеводородов и сейсмические волны в тонкостойкой вязкоупругой геологической среде//Геофиз. журн. 1985. № 6. С. 82—95.
8. Манин Ю. А. Теорема Гёделя//Природа. 1985. № 12. С. 80—87.
9. Сейсмическая стратиграфия. Использование при поисках и разведке нефти и газа/Ред. Г. Пейтон.— М.: Мир, 1982.
10. Соколов Б. А. Развитие представлений о тектонических закономерностях нефтегазоаккумуляции в земной коре//Глобальные тектонические закономерности нефтегазоаккумуляции.— М., 1985. С. 14—25.
11. Трофимук А. А. Первые результаты применения прямых методов поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений в Сибири//Вестн. АН СССР, 1981. № 11. С. 11—23.
12. Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка.— М.: Мир, 1987. Т. 1.
13. Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация.— М.: Наука, 1973.
14. Menard H. W. Toward a Rational Strategy for Oil Exploration//Sci. Amer. 1981. № 1. P. 47—57.
15. Pratt W. E. Toward a Philosophy of Oil-finding//Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol. 1982. Vol. 66. № 9. P. 1417—1422.

Принята редколлегией 26 сентября 1988 г.

фективного управления научно-техническим прогрессом в данной области.

Ресурсно-геологические проблемы обусловлены тем, что географическое размещение известных угольных месторождений, технологические свойства III, качество сосредоточенных в них углей и доступность их для разработки наиболее эффективными способами не всегда отвечают насущным нуждам народного хозяйства конкретных экономических районов. Напряженная обстановка складывается на территории европейской части СССР, на Урале, Дальнем Востоке, в Казахстане и некоторых других регионах, где фонд легкооткрываемых месторождений в основном исчерпан и требуется качественно новый подход к выявлению объектов с углями дефицитных марок, минимальной глубиной залегания и т. п. В связи с этим должны разрабаты-

ваться надежные методы многофакторного геологического прогнозирования угленосности и высокоэффективные прогнозно-поисковые комплексы. Для реализации их применительно к задачам поисков угольных месторождений требуется целенаправленное развитие фундаментальных и прикладных исследований. Во ВНИГРИуголь начата систематизация закономерностей геологического строения угленосных объектов, генетической, парагенетической и других видов устойчивых связей угольных месторождений с элементами и параметрами более крупных геологических суперсистем. В результате должна быть создана система многофакторных геологических, геодинимических, математических, вероятностных, кибернетических и других моделей, выражающих все существенные закономерности в удобной для использования форме. Учитывая специфику угольных месторождений как объектов прогнозирования и поисков, мы рекомендуем раздельное построение многофакторных моделей узлов углеобразования, потенциально угленосных районов, углеперспективных и угленосных площадей, потенциальных и промышленно значимых месторождений и т. п. [7].

Анализ положительного опыта геологов-рудников [6] позволяет считать не менее перспективным, чем в рудной геологии, развитие человеко-машинных систем геологического прогнозирования угольных месторождений. Разумеется, что для этого необходимо безотлагательно приступить к созданию автоматизированных баз эмпирических данных, позволяющих выявлять и использовать существенные статистические закономерности, и баз знаний, отражающих опыт и интуицию геологов-углеразведчиков. Реализация этих перспектив намечается во ВНИГРИуголь на 1990 и последующие годы.

Актуальные геолого-экономические проблемы возникают при внедрении новых принципов хозяйствования и переводе геологоразведочного производства на противозатратную основу, обуславливающих необходимость экономического обоснования поисковых и разведочных работ на уголь, снижения их стоимости и объективной оценки эффективности. В новых условиях потребовалось решительное пресечение по-

рочной практики планирования природных запасов от достигнутого уровня [2], приводящей, в частности, к несбалансированности разведки и освоения запасов угля. Специалистами ВНИГРИуголь [3] подсчитано, что экономический ущерб от такой несбалансированности только в Донецком бассейне составил многие миллионы рублей. Для существенного снижения затрат осуществляется обоснование поисков разведки месторождений в строгом соответствии с прогнозируемой динамикой реальных потребностей народного хозяйства конкретных регионов в углях, пригодных для использования в энергетике, коксохимическом производстве и т. п.

Значительное уменьшение стоимости геологоразведочных работ на уголь достигается, а в ряде случаев и с повышением их качества может быть достигнуто на основе творческого подхода к решению задач, всемерного использования и развития передового опыта, достижений научно-технического прогресса. Имеющиеся здесь резервы чрезвычайно разнообразны. В качестве примера можно привести положительные результаты принятия нестандартных решений в ПГО «Донецбассгеология» при разведке глубоких горизонтов Центрального района Донецкого бассейна. Геолого-промышленные показатели крутопадающих угольных залежей оцениваются здесь путем выявления и использования закономерностей их изменения с глубиной соответствующей экстраполяции значений ниже горных выработок действующих угольных шахт, достигших отметок 1000—1100 м и более от земной поверхности. Все это позволяет выполнять геологические задания при меньших, чем ранее, удельных затратах на дорогостоящие буровые работы, ведение которых к тому же сильно осложнено вследствие застроенности территории и интенсивных искривлений глубоких разведочных скважин.

Удешевление геологоразведочных работ на уголь может достигаться и путем научно обоснованной оптимизации как отдельных составляющих их элементов, так и разведочных, прогнозно-поисковых комплексов в целом. В последнее время, например, удалось установить, что достаточно ресурсоемкая

система опробования и изучения физико-механических свойств углевмещающих пород, узаконенная действующими нормативными документами, может быть существенно рационализирована с учетом показателей пространственной изменчивости определяемых параметров в пределах инженерно-геологических элементов, сложных конкретными литолого-петрографическими разностями. Полученный в результате этого фактический экономический эффект лишь на Садкинском Восточном участке Донецкого бассейна превысил 30 тыс. р. Ожидают подобного решения задачи научного обоснования и оптимизации систем опробования угольных залежей и вмещающих пород на газоносность, содержание полезных и токсичных примесей и др.

Достижения в области создания эффективных разведочных и прогнозно-поисковых комплексов в углеразведке относительно невелики. Подобные исследования во ВНИГРИуголь и некоторых других организациях до сих пор сводились главным образом к обобщению нормативных требований к содержанию геологоразведочной информации, которую надо получать на разных стадиях геологоразведочного процесса, определению видов и объемов работ, необходимых для ее извлечения традиционными методами, и разработке основ многофакторного прогнозирования угленосности. Для коренного улучшения дел в этой важной области требуется создание оптимальной, малозатратной технологии поисков и разведки угольных месторождений. Работы в данном направлении начаты во ВНИГРИуголь в текущем году. Малозатратная технология должна синтезировать все имеющиеся достижения и передовой опыт угольной геологии, геофизики, геологоразведочного дела, смежных отраслей науки и техники. Наиболее важные аспекты ее создания, по нашему мнению, следующие.

1. Построение и максимальное использование при поисках и разведке уже упоминавшихся ранее многофакторных моделей угленосных объектов прогноза, поисков и разведки.

2. Рациональное сочетание во времени — пространстве как существующих, так и принципиально новых дистанционных, наземных, а при необхо-

димости и подземных методов исследований, с приоритетным использованием наиболее экономичных способов получения геологоразведочной информации — бескернового бурения и бурения с гидротранспортом керна, экспрессных геофизических и лабораторных исследований и др.

3. Создание и внедрение подсистемы автоматизированной обработки получаемых данных и управления геологоразведочным процессом, включая перманентное прогнозирование угленосности, планирование и проектирование поисковых и разведочных работ, оперативную корректировку параметров и конфигурации разведочной сети, оптимизацию технологических процессов, использование ЭВМ.

В условиях перестройки хозяйственного механизма возникают проблемы объективной оценки эффективности геологоразведочных работ с позиций соблюдения интересов трудовых коллективов углеразведчиков и народного хозяйства в целом. В связи с этим требуют скорейшего разрешения вопросы научного обоснования предельных нормативов стоимости (ПНС) единицы геологического задания и вопросы геолого-экономического моделирования [4] применительно к специфике поисков и разведки угольных месторождений. Значительный объем накопленной геолого-экономической информации позволяет поставить вопрос о формировании гибкой системы ПНС как совокупности многомерных математических моделей, выражающих закономерные детерминированные и статистические связи между условиями ведения геологоразведочных работ на уголь и общественно необходимыми затратами на их выполнение.

Значительная потребность в дефицитных видах твердого топлива — коксующихся углях и антрацитах — вынуждает все шире осваивать угольные месторождения в сложных природных условиях, характеризующихся значительной тектонической нарушенностью, обводненностью, газоносностью, выбросоопасностью и удароопасностью углей и пород, резкой изменчивостью углов падения, мощности и строения угольных залежей, неустойчивым состоянием их кровли и почвы в горных выработках.

Вследствие этого обострились *горно-геологические проблемы*, обусловленные необходимостью геологического обеспечения эффективной и безопасной работы угледобывающих предприятий, в особенности крупных, высокомеханизированных шахт и разрезов, на которых наиболее сказываются неблагоприятные природные факторы, нередко приводящие к катастрофическим ситуациям. Некоторые из этих проблем, например, изучение и прогнозная оценка газоносности угольных месторождений, морфологии угольных залежей, устойчивости вмещающих пород на контурах горных выработок по геологоразведочным данным уже в значительной степени разработаны. Вместе с тем, еще ожидают решения наиболее актуальные вопросы выявления малоамплитудных тектонических нарушений и участков интенсивной трещиноватости в углях и породах, зон повышенной выбросоопасности, приуроченных к различным элементам геологической структуры месторождений, удароопасности угольных пластов. Задачи эти чрезвычайно сложны, поскольку речь идет о прогнозировании объектов, размеры которых зачастую оказываются несоизмеримо меньшими по сравнению с расстояниями между скважинами стандартной разведочной сети. Прогресс в данной области практически невозможен без совместного использования результатов разведочного бурения, специальных геофизических исследований, оперативных структурных построений с применением ЭВМ, реализации принципов и методов аналогии, математического и физического моделирования, экспертных оценок и т. п.

При постановке и разработке горно-геологических проблем следует учитывать перспективы развития технологии открытой и подземной угледобычи, в связи с чем уже сегодня может потребоваться дополнительная геологическая информация для проектирования шахт и карьеров будущего, создания и внедрения новых методов гидромеханизации добычи, механогидравлической выемки угля, разработки угольных месторождений с использованием геотехнологических методов подземной газификации, экстракции, гидрогенизации и др. [1].

К *геолого-технологическим* мы относим проблемы, непосредственно связанные с перестройкой и оздоровлением угледобывающей и углеперерабатывающей отраслей народного хозяйства страны на базе рационального использования не только собственно углей, но и сопутствующих им полезных ископаемых в рамках общей безотходной технологии. Из этого вытекает необходимость расширения объема и содержания информации, получаемой в процессе геологоразведочных работ. Так, в самом недалеком будущем от геологов-углеразведчиков потребуются обоснование пригодности углей различных марок для замены кокса в недоменном производстве, при реализации других прогрессивных технологий современной металлургии. Институтом ВНИГРИУголь совместно с Днепродзержинским индустриальным институтом изучена и доказана принципиальная возможность решения этой задачи. В настоящее время продолжается исследование, направленные на выяснение пригодности слабоспекающихся и высокозольных углей для использования в коксовой шихте с учетом их принадлежности к различным генетическим типам, определяемой по керну разведочных скважин.

Назрела необходимость создания высокоэффективных, включая экспрессные, методов оценки углей как сырья для производства жидкого топлива, термографита, карбида кальция, сорбентов, органических удобрений и других продуктов с учетом специфики геологических проб, обусловленной ограниченной массой последних, относительно редкой сетью опробования и другими обстоятельствами. Для решения этой задачи в ряде организаций (ВНИГРИУголь, ПГО «Запсбгеология», ИГИ и др.) проводятся работы с целью выявления и использования связей между геологическими и другими показателями углей, поддающимися определению в процессе геологоразведочных работ, и пригодностью углей для применения в нетрадиционных направлениях.

Благодаря расширению внешнеэкономических связей нашей страны приобретают актуальность работы по стандартизации твердых горючих полезных ископаемых с привлечением

наиболее объективных, информативных и технологичных классификационных и других показателей. Заслуживают внимания проблемы прогнозирования и своевременного распознавания «солёных» и прочих разновидностей углей с повышенным содержанием легкоплавких составляющих, поскольку прямое использование их в топочно-котельных агрегатах значительно осложняется интенсивным образованием золыстых отложений на поверхностях нагрева (Ю. Л. Маршак и др., 1981) и корродирующим воздействием на металлы свободного хлора, выделяющегося при сжигании топлива. Связанные с этим научные разработки выполняются в ИМР (Днепропетровск) и некоторых других организациях; необходимо их дальнейшее углубление и расширение.

Для существенного расширения сферы использования отходов добычи и переработки углей, углевмещающих пород, дренажных вод и попутных газов угольных месторождений во ВНИГРИУголь начата реализация достаточно обширной программы научно-прикладных исследований на стыке геологии, геологоразведочного дела, технологии и экономики полезных ископаемых. Решение задач комплексной оценки качества и технологических свойств углей и сопутствующих им полезных ископаемых при геологоразведочных работах требует создания и внедрения новой, прогрессивной технологии отбора и исследования геологических проб из керна разведочных скважин, горных выработок и т. п., а также геофизических методов определения диагностических и классификационных параметров. Сейчас разрабатываются экспрессные методы лабораторных и технологических испытаний, создаются стандартные образцы подлежащего изучению вещества. Данные проблемы должны решаться в тесной связи с достижениями и перспективами дальнейшего совершенствования технологии использования углей и сопутствующих полезных ископаемых в народном хозяйстве.

Возрастание масштабов добычи и переработки угля порождает немало сложных *геолого-экологических проблем*. Горно-эксплуатационные работы на крупных угледобывающих пред-

приятиях все чаще сопровождаются геологическими процессами, сложное переплетение которых чревато опасными, а иногда и катастрофическими последствиями. Примером является образование гигантских техногенных оползней на Ангреномском бурогоугольном месторождении в Средней Азии [8]. Опасно поступление в среду обитания человека вредных компонентов, содержащихся в углях, углевмещающих породах и подземных водах. Подземная разработка угольных месторождений приводит к деформации зданий и сооружений, неблагоприятно сказывается на состоянии других объектов в зоне ее влияния. Для предотвращения неблагоприятных последствий, обусловленных перечисленными и другими экологическими факторами, также потребовалось получение новой, нетрадиционной геологоразведочной информации. Во ВНИГРИУголь разрабатываются вопросы опробования углей и пород на токсичные компоненты, методы прогнозирования химического состава шахтных и карьерных вод, прослеживания выходов и оценки параметров разрывных нарушений с целью обоснования технологии добычи угля под застроенными территориями и т. п. Исследуется проблема мониторинга геологической среды в зонах высоких техногенных нагрузок, обусловленных деятельностью угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий. Результаты, полученные во ВНИГРИУголь и других организациях, позволяют утверждать, что эффективность мониторинга как средства контроля за состоянием геологической среды, прогноза неблагоприятных процессов и обоснования природоохранных мероприятий может быть значительно повышена привлечением аэрокосмической информации.

Важнейшие *технические проблемы* углеразведки диктуются необходимостью существенного повышения производительности труда, улучшения качества переборки и опробования угольных пластов, повышения полноты и достоверности оценки качества и технологических свойств углей и сопутствующих полезных ископаемых. Возникли актуальные задачи доработки и адаптации применительно к условиям углеразведки прогрессивных техниче-

ских средств (и технологий), позволяющих осуществлять бурение с гидротранспортом керна и шлама, КССК с применением съемных коронок, в том числе армированных алмазотвердосплавными резцами, бескernовое, направленное и многоствольное бурение, разведку угольных месторождений скважинами малого диаметра и т. п. [5]. Прогресс в техническом обеспечении технологических исследований может осуществляться на базе создания и внедрения нового лабораторного оборудования, позволяющего быстро и с наименьшими затратами, полностью или по частям воспроизводить технологические процессы коксования, гидрогенизации углей, переработки сопутствующих им компонентов на геологических пробах минимальной массы и т. п. Эти вопросы разрабатываются специалистами ВНИГРИУголь в сотрудничестве с научными коллективами геологоразведочной и других отраслей.

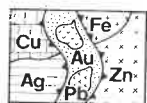
Как видно из вышеизложенного, перечень актуальных проблем геологии и разведки угольных месторождений достаточно обширен и разнообразен, а сами проблемы сложны. Большинство из них исследуется во ВНИГРИУголь, относительно молодом, единственном в стране углеразведочном институте. Для решения перечисленных проблем как за счет централизованных госбюджетных ассигнований, так и по договорам с заказчиками — производственными предприятиями и организациями Мингео и Минуглепрома СССР, в ус-

ловиях хозрасчетной деятельности институте укрепляются научно-техническая база и кадры. Программы работ института направлены на решение большинства поставленных проблем ближайшие 5—10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурчаков А. С. Научные основы создания шахты будущего//Уголь. 1981. № 9—13.
2. Волков В. М. Некоторые вопросы совершенствования геологоразведочного производства//Разведка и охрана недр. 1988. № 1. С. 7—8.
3. Кабалов В. К., Файдов О. Е. Определение целесообразности степени разведанности угольных бассейнов — основа рационального планирования и повышения эффективности геологоразведочных работ//Научно-технический прогресс в области поисков и разведки месторождений твердых горючих ископаемых. М., 1983. С. 33—43.
4. Козловский Е. А. Отрасль: весомые аргументы опыта//Экономическая газета. № 49. Декабрь 1988. С. 12—13.
5. Личевский П. А., Гайдуков Ю. И. Основные направления ускорения научно-технического прогресса при геологоразведочном бурении на твердые горючие ископаемые двенадцатую пятилетку и до 2010 г.//Научно-технический прогресс в области поисков и разведки твердых горючих ископаемых. М., 1987. С. 91—98.
6. Марченко В. В. Человеко-машинные методы геологического прогнозирования. — М.: Недра, 1988.
7. Научно-методологические основы прогнозирования угленосности/В. С. Быкадоров, Б. И. Журавлев, Б. В. Смирнов, А. А. Тимофеев//Сов. геология. 1988. № 9. С. 27—35.
8. Ниязов Р. А. Формирование крупных ополней Средней Азии. — Ташкент, Фан, 1982.
9. Череповский В. Ф. Развитие угольной геологии//Сов. геология. 1987. № 11. С. 57—64.

Принята редколлегией 31 июля 1989



МЕТАЛЛОГЕНИЯ

УДК 553.078

В. А. ТИХОНОВ (ВСЕГЕИ)

О кольцевой металлогенической зональности докембрийских платформ

Проблема выявления металлогенической зональности докембрийских платформ состоит в установлении закономерностей пространственного размещения в их пределах месторождений полезных ископаемых. Это возможно

лишь при наличии однотипных геологических структур, имеющих сходное строение и историю развития. Сравнительный анализ геологического строения докембрийских платформ [1, 4, 12, 13, 15 и др.] позволил нам выд-

ать такие однотипные структуры. Они являются крупнейшие кольцевые структуры Земли, представляющие собой главные тектонические формы рассматриваемых платформ. Для понимания методики выявления металлогенической зональности необходимо знать об этих структурах следующее.

Крупнейшие кольцевые структуры докембрийских платформ (КС первого порядка) по величине и некоторым другим признакам подразделяются на две группы: а) главные, с поперечником в среднем 2900 км (от 2600 до 3100 км) — Канадская, Русская, Восточно-Сибирская, Западно-Бразильская и др.; б) дополнительные, с поперечником в среднем около 1500 км (от 300 до 1700 км) — Гренландская, Печорская, Верхояно-Колымская, Восточно-Бразильская и др. Их основные элементы — кольцевые валы и внутренние впадины, а также не всюду проявленные перикратонные прогибы. Главная особенность кольцевых валов, сложенных кристаллическими щитами и массивами (Украинский, Балтийский, Алданский и др.), — интенсивные процессы гранитизации и ультраметаморфизма и развитие в режиме преимущественного воздымания. Для внутренних впадин, представленных, как правило, крупными синеклизами (Московская, Тунгусская, Амазонская и др.), характерны значительно более слабая гранитизация пород (а местами и ее отсутствие) и развитие в режиме преобладающего опускания.

Каждая из докембрийских платформ, за исключением Африканской и Индостанской, представлена двумя сближенными КС первого порядка — главной и дополнительной. Так, для Северо-Американской платформы главной КС является Канадская, дополнительной — Гренландская, для Восточно-Европейской платформы соответственно Русская и Печорская и т. д. Во взаимном расположении главных и дополнительных КС отмечается определенная закономерность: дополнительная находится всегда несколько восточнее и на большей широте по отношению к главной. Вследствие этого линии, условно проведенные через центры главных и дополнительных КС, образуют с экватором острые углы, открытые в восточном

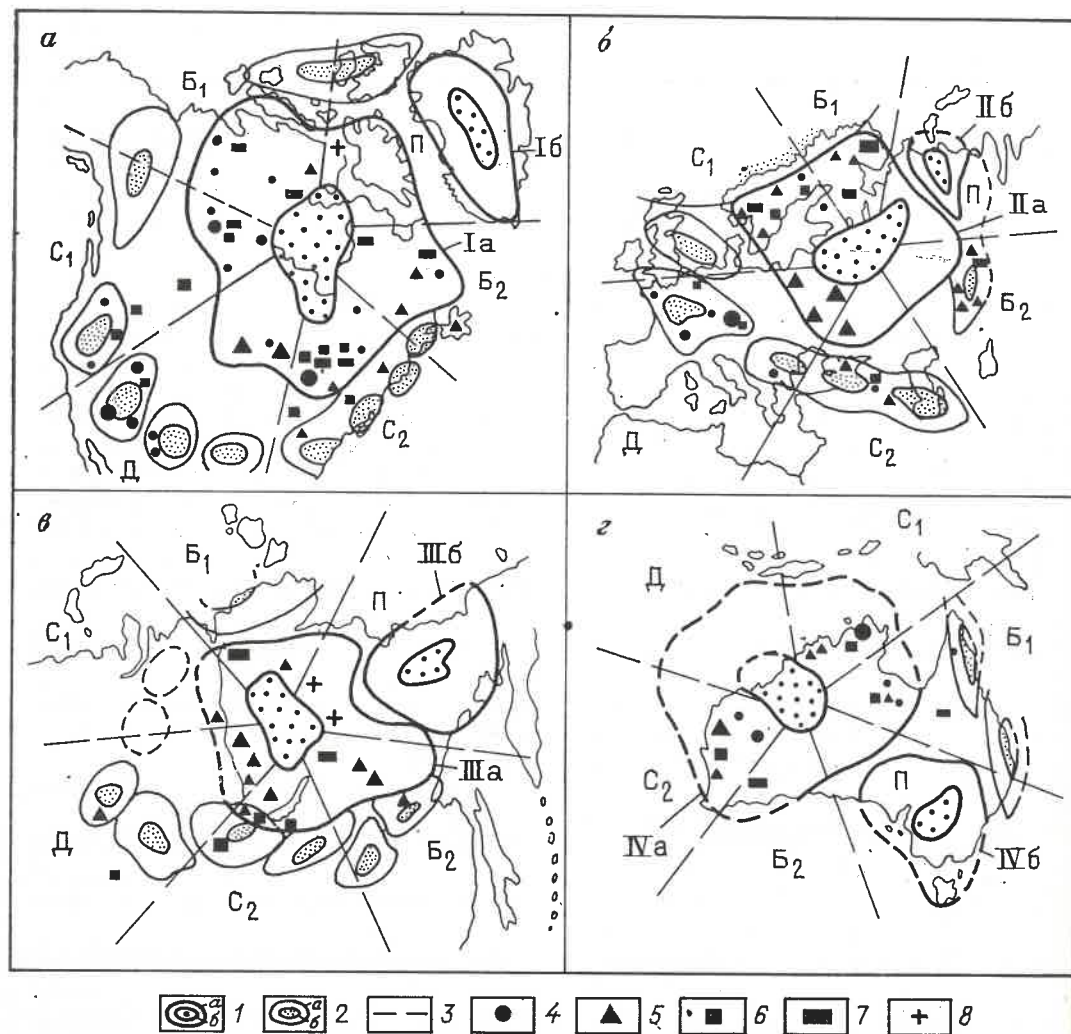
направлении, и имеют в северном полушарии северо-восточное, а в южном — юго-восточное направление. Таким образом, большая часть докембрийских платформ представлена однотипными системами двойных закономерно расположенных друг относительно друга кольцевых структур первого порядка.

Африканская и Индостанская платформы представлены сложной группой сближенных КС первого порядка, среди которых могут быть выделены свои пары главных и дополнительных.

В течение фанерозоя КС первого порядка докембрийских платформ подверглись воздействию разнообразных деструктивных процессов, в результате чего некоторые из них (Индостанская, Западно-Австралийская, Восточно-Африканская) не сохранили первоначального кольцевого облика и представлены лишь отдельными частями.

Фанерозойские складчатые пояса, обрамляющие докембрийские платформы, также состоят из систем расположенных друг возле друга кольцевых структур размером до 800—1200 км в поперечнике.

Наиболее полные и достоверные данные о месторождениях содержат хорошо сохранившиеся, наименее нарушенные докембрийские платформы. Не менее важен для данного исследования учет степени ополаскиваемости докембрийских платформ, от которой зависит необходимая полнота используемых фактических материалов. Исходя из этого в качестве объектов изучения нами избраны Северо-Американская, Восточно-Европейская, Сибирская и Австралийская платформы. При этом рудоносность внутренних впадин и дополнительных КС не анализировалась. Перечень рассмотренных полезных ископаемых также был ограничен. Это уран (кроме СССР), железо, полиметаллы, никель и алмазы (только в кимберлитах). На приведенном рисунке промышленные проявления полезных ископаемых показаны в рангах рудоносных провинций и рудных районов. При составлении схем использованы материалы опубликованных научных работ [2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14]. Для установления особенностей размещения рудоносных провинций и рудных районов террито-



Схемы размещения рудоносных провинций и рудных районов в пределах Северо-Американской (а), Восточно-Европейской (б), Сибирской (в) и Австралийской (г) докембрийских платформ и обрамляющих их фанерозойских складчатых поясов:

1 — КС докембрийских платформ, их внутренние впадины (а) и кольцевые валы (б); 2 — КС фанерозойских складчатых поясов, их внутренние впадины (а) и кольцевые валы (б); 3 — условные границы секто-

ров; рудоносные провинции и рудные районы; 4 — урана, 5 — железа, 6 — полиметаллов, 7 — никеля, 8 — алмазов; цифрами и буквами обозначены: главные КС (Ia — Канадская, IIa — Русская, IIIa — Восточно-Сибирская; IVa — Западно-Австралийская); дополнительные КС (Iб — Гренландская, IIб — Печорская, IIIб — Верхояно-Колымская, IVб — Восточно-Австралийская); секторы: Д — дальний, С₁ и С₂ — средние, Б₁ и Б₂ — ближние, П — прилегающий

рия каждой из главных КС платформ и обрамляющих их складчатых поясов условно подразделена на шесть секторов, названных в зависимости от их удаления от дополнительных КС, а именно: дальний, средние, ближние и прилегающий. По размеру секторы примерно одинаковы: каждый из них охватывает около 60 дуговых градусов.

В результате сравнительного анализа фактических данных нами сделаны следующие выводы по закономерностям проявления отдельных видов полезных ископаемых.

Уран. Основной особенностью урановорудной зональности является максимальное развитие промышленных руд в дальних и средних секторах рассматриваемых структур (провинции Колорадо, Атабаска, Эллиот-Лейк, Центрально-Французская, Чешская, Северо-Австралийская и др.). Ближние секторы содержат лишь группы небольших урановорудных районов, а в прилегающих секторах значительные промышленные месторождения урана отсутствуют. Наиболее отчетлива тенденция уменьшения интенсивности

уранового оруденения (по мере перехода от дальних секторов через средние к ближним и прилегающим) в пределах обрамляющих платформы фанерозойских складчатых поясов. С нею связано отсутствие крупных ураноносных провинций в каледонидах Норвегии и Аппалачей, в северо-западной части Скалистых гор и в ряде других областей.

Железо. В размещении железных руд по секторам наблюдается та же закономерность, что и для урана. Основная масса месторождений железа приурочена к дальним и средним секторам (оз. Верхнее, Кривой Рог, КМА, Ангари-Илимские, Хамерсли и др.). В ближних секторах интенсивность проявления железных руд значительно слабее, а в прилегающих секторах месторождения железа не известны.

Полиметаллы. Для этого оруденения характерен резко выраженный максимум проявления в средних секторах изученных структур. Здесь располагается большая часть полиметаллических провинций и районов (Сулливан, Миссисипи, Айдахо, Алтай, Забайкалье, Садон и др.). В сторону дальних и особенно ближних и прилегающих секторов наблюдается быстрый спад.

Никель. Главная особенность никелевого оруденения — это приуроченность большей части (11 из 15) провинций никеля к ближним секторам. Здесь находятся провинции Мончегутундра, Норильск, Кабалда и ряд других.

Алмазы. Все известные коренные промышленные месторождения алмазов в кимберлитах, в том числе и крупнейшие месторождения Южной Африки, располагаются в прилегающих секторах главных КС. В других секторах известны либо месторождения алмазов в лампроитах и небольшие россыпные месторождения алмазов, либо непромышленные находки алмазов в многочисленных трубках и дайках кимберлитов. В связи с этим возможно выявление новых крупных алмазоносных провинций в пределах прилегающих секторов Австралийской и Западно-Бразильской КС.

Таким образом, в пределах главных КС докембрийских платформ и обрамляющих их фанерозойских склад-

чатых поясов основная масса месторождений того или иного полезного ископаемого сосредоточена в определенных секторах, в то время как другие секторы либо бедны им, либо вообще не содержат промышленных месторождений этого полезного ископаемого. Так, в дальних и средних секторах располагается основная часть крупных ураноносных и железорудных провинций и районов. В средних секторах, прилегающих к дальнему, находится подавляющая часть полиметаллических, в ближних секторах — никеленосных, в прилегающих — алмазоносных провинций и районов. Эта закономерность — следствие различной интенсивности проявления рудоформирующих процессов и отражает, таким образом, «количественную» сторону вопроса. Ее мы рассматриваем как проявление латеральной металлогенической зональности первого типа.

Сравнительный анализ имеющихся данных с учетом формационной принадлежности рудных месторождений позволяет сделать вывод о наличии также металлогенической зональности второго типа, которая отражает «качественную» сторону проявления рудоформирующих процессов в пределах рассматриваемых структур. Так, нами составлена схема размещения ураноносных провинций и районов по секторам главных КС Северо-Американской, Восточно-Европейской, Австралийской и других платформ, на которой провинции и районы подразделены в зависимости от наиболее характерных для них типов урановых месторождений. При этом использована известная типизация промышленных месторождений урана [5].

Смена различных типов урановых месторождений отчетливо проявляется по мере перехода из одного сектора в другие только для докембрийской платформы. В дальнем секторе отмечены в основном гидротермальные месторождения урана, связанные с протерозойскими альбититами (Западный Сьюпириор и др.). Для обоих средних секторов наиболее типичны: а) ураноносные провинции с месторождениями в древних ураноносных конгломератах (Эллиот-Лейк, Центральный Квебек, Дадридж-Лейк, Западный берег Гудзонова залива, Финляндия, Налад-

жайк в Западной Австралии); б) ураноносные провинции с месторождениями типа «несогласия» (Атабаска, Северная Австралия); в) ураноносные провинции с месторождениями в вулкано-тектонических структурах, в формировании которых межформационные нарушения также имеют большое значение. Для ближних секторов характерны жильные гидротермальные месторождения урана в зонах крупных разломов (Бол. Медвежье озеро, Ист-Арм и Макковик-Сил-Лейк в Канаде, Мэри-Катлин в Австралии и др.).

Таким образом, рассматриваемая латеральная металлогеническая зональность второго типа состоит в закономерной смене формационных типов урановых месторождений по мере перехода из дальнего сектора через средние в ближние в следующей последовательности: а) месторождения в протерозойских альбититах; б) месторождения в древних конгломератах типа «несогласия» и в вулкано-тектонических структурах; в) жильные месторождения в крупных зонах разломов.

Для обрамляющих платформы складчатых поясов наиболее характерны гидротермальные жильные месторождения в зонах разломов, месторождения «песчаникового» типа, месторождения в вулкано-тектонических структурах.

Природа описанной выше латеральной металлогенической зональности двух типов в настоящее время недостаточно ясна. Вероятнее всего, она связана с первичными неоднородностями состава мантийного вещества Земли, сформировавшимися на самых ранних этапах ее развития и проявившимися также в пределах докембрийских платформ. Приведенные в статье сведения по металлогенической зональности докембрийских платформ — лишь постановка вопроса о наличии определенных закономерностей в пространственном размещении рудоносных провинций и районов в пределах этих крупных регионов Земли. Нами предложен один из возможных путей выявления таких закономерностей. В дальнейшем целесообразно провести аналогичный сравнительный металлогенический анализ для других видов полезных ископаемых, распространив

его на все докембрийские платформы. В итоге можно разработать специальную методику сравнительного металлогенического анализа крупнейших кольцевых структур докембрийских платформ с составлением различных видов карт, отражающих не только особенности пространственного размещения месторождений полезных ископаемых, но и содержащих количественную характеристику проявления рудоформирующих процессов на основе учета выявленных запасов руд.

Кратко подытожим все изложенное выше.

Докембрийские платформы, рассматриваемые как однотипные системы двойных закономерно расположенных друг возле друга кольцевых структур первого порядка, обладают определенной латеральной металлогенической зональностью.

Крупнейшие кольцевые структуры этих платформ характеризуются латеральной металлогенической зональностью двух типов;

а) основная часть наиболее крупных рудоносных провинций и районов того или иного полезного ископаемого сосредоточена во вполне определенных секторах главных кольцевых структур платформ, в то время как другие секторы либо бедны этим полезным ископаемым, либо вообще не содержат его промышленных месторождений. Эта закономерность, проявленная в размещении полезных ископаемых по окружности кольцевых структур, названа нами зональностью первого типа. Она отражает «количественную» сторону проявления рудоформирующих процессов в пределах докембрийских платформ;

б) отмечается закономерная смена формационных типов урановых месторождений по мере перехода из одного сектора в другой: в дальних секторах размещаются месторождения урана в протерозойских альбититах, в средних — в древних конгломератах типа «несогласия» и в вулкано-тектонических структурах, в ближних — жильные, в крупных зонах разломов. Аналогичная закономерность может быть выявлена и для других видов полезных ископаемых. Она отражает «качественную» сторону проявления рудо-

формирующих процессов и отнесена нами к зональности второго типа.

Выявленная латеральная металлогеническая зональность, связанная, очевидно, с первичными неоднородностями состава мантийного вещества, позволяет прогнозировать новые рудоносные провинции различных полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глуховский М. З., Кац Я. Г., Моралев В. М. О нуклеарах континентов мира // Изв. вузов. Геология и разведка. 1983. № 8. С. 14—19.
2. Карта полезных ископаемых континентов мира в масштабе 1:15 000 000/Под ред. П. М. Татаринова.— М.: ВСЕГЕИ, 1972.
3. Карта рудоносности докембрия континентов в масштабе 1:15 000 000/Гл. ред. А. В. Сидоренко.— М., 1979.
4. Карта тектоники докембрия континентов в масштабе 1:15 000 000.— Новосибирск — М., 1972.
5. Лавров Н. П., Смирнов А. О., Шумилин М. В. Зарубежные месторождения

урана/Под ред. Н. П. Лаврова.— М.: Недра, 1983.

6. Металлогения урана континентальных блоков земной коры/Ред. Ю. М. Шувалов.— Л.: Наука, 1980.
7. Основы прогноза урановорудных провинций и районов/Под ред. Н. П. Лаврова.— М.: Недра, 1986.
8. Полезные ископаемые Австралии и Папуа — Новой Гвинеи. Т. 1/Под ред. К. Найта.— М.: Мир, 1980.
9. Рудные месторождения СССР. Т. 1—3/Отв. ред. В. И. Смирнов.— М.: Недра, 1978.
10. Рудные месторождения США. Пер. с англ. Т. 1—2.— М.: Мир, 1972; 1973.
11. Тектоника Африки/Под ред. Ю. Шуберта и А. Фар-Мюре.— М.: Мир, 1973.
12. Тектоника фундамента древних платформ/Отв. ред. М. В. Муратов.— М.: Наука, 1973.
13. Тектоническая карта мира в масштабе 1:25 000 000/Ред. В. Е. Хаин.— М., 1982.
14. Трофимов В. С. Геология месторождений природных алмазов.— М.: Недра, 1980.
15. Хаин В. Е. Региональная геотектоника. Т. 1—4.— М.: Недра, 1971; 1977; 1979; 1984.

Принята редколлегией 26 декабря 1988 г.

УДК 553.078(571.1/.5)

И. Н. ГОРЯИНОВ, В. С. АПЛОНОВ, С. В. АПЛОНОВ
(ПГО «Севморгеология»)

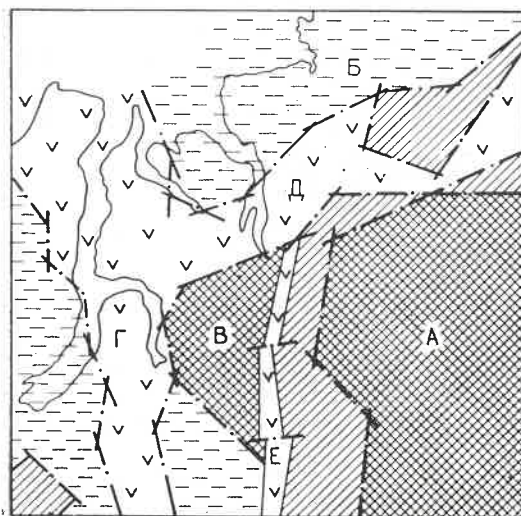
Новый аспект металлогенических перспектив северо-запада Сибирской платформы

Северо-запад Сибирской платформы — одна из главных мировых провинций промышленного медно-никелевого оруженения. Первоочередной задачей геологоразведочной службы в Норильском районе является опосредованное глубоких горизонтов в целях наращивания запасов вблизи действующих горнодобывающих предприятий. Проблема поисков глубокозалегающих рудных месторождений кроме большого геологического и научно-технического имеет огромное социально-экономическое значение [4]. Установленные в последнее десятилетие особенности геодинамического развития крупных сегментов Земли и закономерности размещения сульфидного оруженения в рифтовых зонах Мирового океана дают возможность с новых позиций подойти к анализу дальнейших перспектив рудоносности этого региона.

Консолидация литосферы рассматриваемой территории продолжалась

длительное время и происходила в различных геодинамических обстановках. В целом довольно слабая изученность зон сочленения древнего Сибирского кратона с северными районами Западно-Сибирской плиты и Енисей-Хатангским прогибом не позволяет однозначно интерпретировать их геодинамическую природу. На основе имеющейся информации, прежде всего материалов геофизических съемок, можно получить пока лишь качественное представление о палеотектонике северо-запада Сибирской платформы, узловыми моментами которой являлись следующие.

В позднем докембрии и раннем палеозое тектоническое развитие региона было тесно связано с эволюцией обширного Азиатского палеоокеана между Сибирской и Восточно-Европейской плитами [9]. В условиях пододвигания древней океанической литосферы под Сибирский континент от последнего был отторгнут довольноно-



Тектоническая схема северо-западного обрамления Сибирской платформы:
 возраст консолидации литосферы: 1 — докарельский и карельский, 2 — байкальский, 3 — герцинский, 4 — раннекаменноугольный; А — Сибирская платформа, Б — Таймырская складчатая область, В — Няояхский микроконтинент, Г — Обский палеоокеан, Д — Енисей-Хатангский рифтогенный прогиб, Е — Худосейский рифт

крупный сегмент континентальной литосферы — Няояхский микроконтинент (рисунок). Постепенное закрытие палеоокеана привело к аккреционному наращиванию древнего Сибирского континента за счет приращения к его западной и северной окраинам островных дуг и закрытия существовавших здесь окраинных морей. В результате этих процессов, по-видимому, сформировался байкальский складчатый пояс вдоль северо-западного обрамления Сибирской платформы, в настоящее время практически полностью перекрытый мезозойско-кайнозойскими осадочными толщами Западной Сибири и Енисей-Хатангского прогиба. В островные дуги на окраине отмирающего Азиатского палеоокеана был «впечатан» и древний Няояхский микроконтинент.

Одновременно с закрытием Азиатского палеоокеана в пространстве между Восточно-Европейской и Сибирской платформами в раннем и среднем палеозое происходил спрединг другого океанического бассейна — Уральского. Полный цикл его эволюции завершился формированием Урала, Таймыра и других складчатых сооружений, погребенных под осадочным чехлом.

В процессе активизации Сибирской платформы относительно Восточно-Европейского палеоокеана его дрифейской на 10—12° [10] и Западно-Таймырского блока по часовой стрелке, падающих под закрывающийся на 30° [3].

Азиатский палеоокеан, и, следовательно, С пермо-триасовым расколом Северного, северо-западный край Сибирской Евразии связано и образование платформ в это время, по всей Худосейского рифта вдоль северо-западной окраины тихоокеанского или вновь отделившегося от нее Няояхский микроконтинент. Деструкция континента.

К концу палеозоя Восточно-Европейской литосферы здесь проявилась в пейский, Сибирский и Казахстанский меньшей степени, чем в пределах Обского палеоокеана и Енисей-Хатангского палеоокеана и Енисей-Хатангского литосферную плитского прогиба: Худосейский рифт возник уже в поздней перми тектоник, эволюционировал и отмирал в чешский коллаж, сформировавшийся в континентальной обстановке.

Области сочленения древних континентов, рассчитанные по гравитационным тонам, вновь подверглись дроблению и в современных модели земной коры показываются. Крайним проявлением дробления являются зоны рифтов на всю мощность процессов явилось зарождение консолидированной коры, вернее в северной части Западной Сибири, заполнены магматическими породами Обского палеоокеана, который является основным составом, т. е. предтечение почти 20 млн лет (с середины палеозоя) составляют собой расщелины в земной коре, образованные за счет внедрения чала среднего триаса) разрастался мантийных масс по ослабленным зонам. Над ними отмечаются повышенного раздвижения континентальные температурные поля. Главные массивы обрамления. В настоящее время рифты сопровождаются апофизмами, время Обский палеоокеан представлял собой, имеющие меньшие размеры, хатангский гигантскую трещину в гетерогенном и глубоко погруженном фундаменте Западно-Сибирской платформы. К апофизмам Худосейского рифта относится большинство крупных разломов северо-восточного простирания, протягивающихся от г. Новый Васильев до акватории Карского моря. Расстояние около 2000 км, залеченное океанической литосферой нормально, в профиле и перекрытую осадочным комплексом мощностью до 15 км.

Очевидно, одновременно с Обским палеоокеаном формировался и Енисей-Хатангский рифтогенный прогиб, тектоническая природа которого окончательно еще не выяснена. Если основываться на предположении, что зарождение Енисей-Хатангского прогиба произошло вследствие эволюционного перехода тройного сочленения типа «рифт—трансформный разлом—рифт» в систему «рифт—рифт—рифт». Деструкция континентальной литосферы Енисей-Хатангской ветви тройного сочленения, по-видимому, проявилась в более слабой степени, чем в пределах Обского палеоокеана. В целом же эволюция тройного сочленения привела отчетливо фиксируемому по палеонтологическим данным развороту Сибирской платформы. В процессе активизации Сибирской платформы относительно Восточно-Европейского палеоокеана его дрифейской на 10—12° [10] и Западно-Таймырского блока по часовой стрелке, падающих под закрывающийся на 30° [3].

Тектоническая природа «неразвившегося» Худосейского рифта, очевидно, во многом сходна с геодинамикой Данакильского рифта в восточной части Эфиопского плато [7, 11]: и тот, и другой возникли синхронно с будущими океаническими бассейнами, однако их развитие не пошло дальше внутриконтинентальной стадии и сопровождалось быстрым отмиранием.

Следует отметить, что пермо-триасовые расколы Северной Евразии тяготели к древним шовным зонам. Примерами тому служат Енисей-Хатангский прогиб, разобшивший байкальские островные дуги на севере Сибирской платформы и герциниды Западного Таймыра, и Худосейский рифт, наследующий простирающиеся линейные зоны «впечатывания» древнего Няояхского микроконтинента в байкальские островные дуги на северо-западной окраине Сибирской платформы. В этом также обнаруживается сходство пермо-триасовых рифтов Северной Евразии с современными рифтами Красного моря и Аденского залива, наследующими, как известно, древние ослабленные зоны в широком поясе позднепротерозойской складчатости и тектонической активизации [6, 11].

Для сравнения нами рассмотрены основные металлогенические особенности региона Красного моря. Вдоль оси грабена основного рифта на протяжении около 1000 км располагаются 24 впадины с рудной минерализацией и рассолами. Площадь наиболее крупной впадины Атлантис-II около 60 км². По краям рифта прослеживаются породы эвапоритовой серии мощностью до 3000 м, которые древнее новообразованной коры, но под влиянием солевой тектоники растекаются по ней. В основных рудоносных впадинах установлены залежи меди, цинка, свинца, серебра и кадмия, в краевой части Красного моря — ряд более древних месторождений. Дорифтовый период характеризуется образованием морских фосфатов, стратиформных залежей свинцово-цинковых и медных руд в красноцветных отложениях, оолитовых железорудных залежей, руд марганца, бария и полиметаллических руд типа руд долины Миссисипи. Эта миоценовая минерализация связана с глубинным гидротермальным источни-

ком [14]. В ангидрите и галите вмещающих пород обнаружены газово-жидкие включения с температурой гомогенизации 340 и 400 °С. Гидротермальная деятельность охватывает весь регион; на что указывают многочисленные горячие источники с температурой воды от 50 до 100 °С и горячие рассолы.

Проанализировав особенности галогенеза в солеродных бассейнах, развивающихся в условиях континентального рифтогенеза, Н. М. Джиноридзе (1985) пришел к выводу об эксгальационно-осадочном образовании солей и части ангидрита и о парагенетической связи рифтогенеза, галогенеза и рудогенеза. С подобными системами, по его мнению, связано формирование крупнейших свинцово-цинково-серебряных месторождений Австралии — Брокен-Хилл, Маунт-Айза, Мак-Артур-Ривер. Н. М. Джиноридзе приводит доводы в пользу глубинного гидротермального происхождения хлоридно-кальциевых рассолов рудоносных впадин Красного моря.

Отмеченные металлогенические особенности региона Красного моря характерны и для северо-западной окраины Сибирской платформы. Из них наиболее показательными являются приуроченные к вендской красноцветной формации медистые песчаники и сланцы, занимающие обширную территорию в бассейне р. Енисей (20 000 км²) от р. Курейка на юге до р. Хантайка на севере. Здесь установлены бедная пластовая минерализация и богатые залежи. Последние, по данным И. Ф. Габлиной (1984), имеют сложную конфигурацию и секут литологические и стратиграфические границы. Рудные минералы представлены дигенитом, борнитом, халькопиритом, халькозинном, жарлентом, пиритом, в меньшей степени галенитом, сфалеритом, марказитом, теннантитом, люцитом, рутилом, сфеном, гематитом, шеелитом, энаргитом, реньеритом. Помимо медистых песчаников и сланцев обнаружены также рудопоявления вольфрама, цинка и меди.

В различных частях девонского разреза, прослеживающегося с перерывами по правому берегу р. Енисей от р. Подкаменная Тунгуска до оз. Пясино; неоднократно отмечаются фосфато-

носные остатки, линзовидные и пластовые скопления костных брекчий, мелкие фосфоритовые гальки и желваки. Результаты деятельности эндогенных гидротермальных растворов обнаруживаются и в более древних породах северо-запада Сибирской платформы. Так, в рифейских отложениях Игарского и Туруханского районов широко развиты кремнистые породы, образующие слои и линзы среди вулканогенно-осадочных и карбонатных пород. Температуры гомогенизации линз кембрийских и ордовикских карбонатов, а также девонских ангидритов и доломитов северо-запада Сибири 25—400 °С. Концентрация меди, марганца, хрома, никеля, бария и бора в проявлениях здесь региональной гидротермальной деятельности. Температурный режим палеогидротермальных процессов аналогичен таковому гидротермальных процессов в современных рифтах Мирового океана, в том числе и Красного моря. Максимумы декрепитации лежат в интервале 160—450 °С. Это выше температур, которые обращают на себя внимание железопервично-седиментационными включениями, видоизмененными в зоне эрозии. По данным М. К. Иванова, в генозе. Температуры декрепитации аллювиальных отложений первой и зависят от возраста карбонатов, второй надпойменной террас р. Таз в различаются лишь в образцах, взятых на разных участках.

Насыщенность исследованных пород высокотемпературными включениями наиболее вероятно обусловлена их рекристаллизацией или метасоматическим образованием под воздействием глубинных эманаций. Одними из таких новообразованных пород, по данным И. Н. Горяинова, являются метасоматические доломиты. Их связь с полуметаллическими рудами известна в других районах. Например, А. И. Давидов, В. Д. Конкин и В. М. Крупин (1978) в юго-восточной Якутии описали метасоматические доломиты, гласно залегающие с вмещающими породами, мощностью до 90 м и протяженностью до нескольких километров, которые сопутствуют свинцово-цинковым месторождениям. Температуры гомогенизации включений в этих доломитах от 80 до 360 °С. Указанные факты отмечают, что по мнению Т. Лавринга, изучавшего газово-жидкие включения, метасоматические доломиты «зебра» района Лендвилл (США) формировались при температуре 200—300 °С.

Результаты деятельности эндогенных гидротермальных растворов обнаруживаются и в более древних породах северо-запада Сибирской платформы. Так, в рифейских отложениях Игарского и Туруханского районов широко развиты кремнистые породы, образующие слои и линзы среди вулканогенно-осадочных и карбонатных пород. Температуры гомогенизации линз кембрийских и ордовикских карбонатов, а также девонских ангидритов и доломитов северо-запада Сибири 25—400 °С. Концентрация меди, марганца, хрома, никеля, бария и бора в проявлениях здесь региональной гидротермальной деятельности. Температурный режим палеогидротермальных процессов аналогичен таковому гидротермальных процессов в современных рифтах Мирового океана, в том числе и Красного моря. Максимумы декрепитации лежат в интервале 160—450 °С. Это выше температур, которые обращают на себя внимание железопервично-седиментационными включениями, видоизмененными в зоне эрозии. По данным М. К. Иванова, в генозе. Температуры декрепитации аллювиальных отложений первой и зависят от возраста карбонатов, второй надпойменной террас р. Таз в различаются лишь в образцах, взятых на разных участках.

Насыщенность исследованных пород высокотемпературными включениями наиболее вероятно обусловлена их рекристаллизацией или метасоматическим образованием под воздействием глубинных эманаций. Одними из таких новообразованных пород, по данным И. Н. Горяинова, являются метасоматические доломиты. Их связь с полуметаллическими рудами известна в других районах. Например, А. И. Давидов, В. Д. Конкин и В. М. Крупин (1978) в юго-восточной Якутии описали метасоматические доломиты, гласно залегающие с вмещающими породами, мощностью до 90 м и протяженностью до нескольких километров, которые сопутствуют свинцово-цинковым месторождениям. Температуры гомогенизации включений в этих доломитах от 80 до 360 °С. Указанные факты отмечают, что по мнению Т. Лавринга, изучавшего газово-жидкие включения, метасоматические доломиты «зебра» района Лендвилл (США) формировались при температуре 200—300 °С.

Результаты деятельности эндогенных гидротермальных растворов обнаруживаются и в более древних породах северо-запада Сибирской платформы. Так, в рифейских отложениях Игарского и Туруханского районов широко развиты кремнистые породы, образующие слои и линзы среди вулканогенно-осадочных и карбонатных пород. Температуры гомогенизации линз кембрийских и ордовикских карбонатов, а также девонских ангидритов и доломитов северо-запада Сибири 25—400 °С. Концентрация меди, марганца, хрома, никеля, бария и бора в проявлениях здесь региональной гидротермальной деятельности. Температурный режим палеогидротермальных процессов аналогичен таковому гидротермальных процессов в современных рифтах Мирового океана, в том числе и Красного моря. Максимумы декрепитации лежат в интервале 160—450 °С. Это выше температур, которые обращают на себя внимание железопервично-седиментационными включениями, видоизмененными в зоне эрозии. По данным М. К. Иванова, в генозе. Температуры декрепитации аллювиальных отложений первой и зависят от возраста карбонатов, второй надпойменной террас р. Таз в различаются лишь в образцах, взятых на разных участках.

Насыщенность исследованных пород высокотемпературными включениями наиболее вероятно обусловлена их рекристаллизацией или метасоматическим образованием под воздействием глубинных эманаций. Одними из таких новообразованных пород, по данным И. Н. Горяинова, являются метасоматические доломиты. Их связь с полуметаллическими рудами известна в других районах. Например, А. И. Давидов, В. Д. Конкин и В. М. Крупин (1978) в юго-восточной Якутии описали метасоматические доломиты, гласно залегающие с вмещающими породами, мощностью до 90 м и протяженностью до нескольких километров, которые сопутствуют свинцово-цинковым месторождениям. Температуры гомогенизации включений в этих доломитах от 80 до 360 °С. Указанные факты отмечают, что по мнению Т. Лавринга, изучавшего газово-жидкие включения, метасоматические доломиты «зебра» района Лендвилл (США) формировались при температуре 200—300 °С.

* В настоящее время генезис «классических» месторождений марганца «чиатурского типа» ставится под сомнение. Новые фактические данные свидетельствуют о вулканогенно-осадочной и гидротермально-осадочной природе подобных месторождений и связи с рифтогенезом (М. М. Мстиславский, 1965).

вания отмечены в Сухарихинском (низовья р. Холпакова) и Норильском (истоки р. Талая) районах.

Красноморские рассолы по составу (хлоридно-кальциевому) сходны с гидротермальными растворами Восточно-Тихоокеанского поднятия [14]. Можно предположить, что такой же состав имели растворы, поступавшие по рифтовым зонам, ограничивающим северо-запад Сибирской платформы. Региональный масштаб явления должен был привести к резкому изменению солевого состава и концентрации вод Арктического океанического бассейна. Подтверждением этому могут служить исследования, выполненные И. С. Грамбергом и Н. С. Спиро, которые показали, что надежным критерием для восстановления состава древних водоемов является состав адсорбированного комплекса осадочных пород. Последний скачкообразно изменяется на границе палеозоя и мезозоя: уменьшается содержание калия, возрастает количество натрия, щелочноземельные элементы обедняются магнием и обогащаются кальцием. Начиная с триаса, изменения носят более плавный характер. Среднее отношение магния к сумме щелочноземельных элементов в триасовых породах составляет 0,41, в юрских — 0,38, а в меловых — 0,34.

На основании изложенного можно заключить, что в металлогеническом отношении северо-запад Сибирской платформы обнаруживает сходство с регионом Красного моря. Аналогия позволяет предполагать, что в зонах Худосейского и Енисей-Хатангского палеорифтов, оконтуривающих северо-запад Сибирской платформы, залегают колчеданные и (или) стратиформные полиметаллические месторождения. Структурами, вмещающими эти рудные комплексы, могут быть перспективные рудоносные структуры, выделенные под юрско-меловыми отложениями Енисей-Хатангского прогиба и Западно-Сибирской плиты М. К. Ивановым (1983) на основе структурно-формационного анализа по морфологическим признакам.

Анализ истории Сибирской платформы с современных геотектонических позиций по палеомагнитным и геологическим данным, проведенный М. Л.

Баженковым и А. А. Моссаковским (1986), показывает, что она является частью единой кинематической системы, образованной в складчатом обрамлении платформы разнотипными ансамблями структур сжатия и растяжения, связанных с горизонтальными движениями разного масштаба. К ним относятся триасовые рифты в фундаменте Западно-Сибирской плиты, взбросо-сдвиги, глыбовые складки в средне- и верхнепалеозойских отложениях Минусинских впадин на юге Сибири, раннемезозойские впадины Забайкалья и Монголии, триасовые складчато-глыбовые деформации Северной Земли и Таймыра. Отчетливо фиксируемое по палеомагнитным данным правостороннее вращение Сибирской плиты, которое привело в раннем мезозое к отодвиганию ее северного края от Восточно-Европейской платформы и обусловило возникновение перечисленных структур, уместно увязать с раскрытием Обского палеоокеана, поместив тем самым полюс раннемезозойского вращения Сибирской платформы в южной части Западной Сибири, в районе г. Омска.

Единство кинематической системы предполагает сходство эндогенных связей глубинные — приповерхностные слои Земли. Отсюда становится понятным присутствие стратиформных колчеданных свинцово-цинковых руд в ряде мест вдоль обрамления Сибирской платформы. В частности, Г. Н. Бровковым и Т. Я. Корневым (1987) на Енисейском кряже выделен Енисейский полиметаллический пояс. В последние годы в зоне контакта палеозойских пород фундамента Западно-Сибирской плиты с мезозойско-кайнозойским рыхлым чехлом (Нюрольский осадочный бассейн и его обрамление в пределах Томской области), представленной измененными эпигенетическими породами, В. А. Баженковым (1986) описана свинцово-цинковая минерализация, также имеющая наложенный характер.

По данным В. Г. Иванова, подземные воды доюрского водоносного комплекса, с которым связана полиметаллическая минерализация, в значительной степени минерализованы (до 94 г/л, в среднем 45,7 г/л), имеют хлоридно-натриево-кальциевый состав, ра-

зогреты до 60—140 °С. В водах отмечается очень высокое содержание цинка (в среднем 978,2 мкг/л). Повышенная концентрация микроэлементов, в том числе ванадия, меди, молибдена, кобальта, серы, свинца, бария, характерна для подземных вод и других нефтегазоносных районов Западной Сибири [2]. Следует отметить зависимость концентрации кремнезема от температуры (известно, что аморфный кремнезем является одним из характерных компонентов отложений современных гидротерм Восточно-Тихоокеанского поднятия), а также элементов группы железа и ряда других редких и рассеянных элементов (медь, цинк, рубидий, молибден, германий, олово) от температуры подземных вод [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гелецян Г. Г., Растегин А. Л. Геохимические особенности кремнистых пород рифта северо-запада Сибирской платформы // Геохимия докембрийских и палеозойских отложений Сибири. Новосибирск, 1985. С. 32—40.
2. Геология нефти и газа Западной Сибири. А. Э. Конторович, И. И. Нестерев, Ф. К. Салманов и др. — М.: Недра, 1985.
3. Гусев Б. В. Горизонтальные движения земной коры в истории формирования мезозойских прогибов и соприкасающихся структур центральной части советской Арктики. Геотектонические предпосылки к поискам полезных ископаемых на шельфе Северного Ледовитого океана. Л., 1985. С. 68—81.
4. Глубокозалегающие рудные месторождения и проблема их поиска геофизическими методами // В. С. Сурков, Г. Г. Ремпель, Г. Н. Константинов и др. // Геология и геофизика. 1986. № 2. С. 91—99.
5. Казанский Ю. П., Катаева В. Н., Шугуров Н. А. Опыт изучения состава газов и жидкой фаз включений как реликтов древних атмосфер и гидросфер // Геология и геофизика. 1969. № 11. С. 42—47.
6. Ковалев А. А. Мобилизм и поисковые геологические критерии. — М.: Недра, 1985.
7. Нефтегазоносность и тектоника плит южной части Красного моря // Д. Д. Лоусон, Д. Д. Геник, Т. Х. Нельсон и др. // Нефтегазоносность и глобальная тектоника. 1978. С. 92—111.
8. Океанология. Геофизика океана. Т. 2. М.: Наука, 1979.
9. Палеозойские океаны: попытка абсолютных реконструкций // Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, М. В. Кононов и др. // Доклады АН СССР. 1984. Т. 3. С. 35—45.
10. Палеомагнитология // А. Н. Храмов, Г. Гончаров, Р. А. Комиссарова и др. — М.: Недра, 1982.
11. Развальяев А. В. Ранние стадии развития («созревания») зон континентального рифтогенеза // Континентальный и океанский рифтогенез. М., 1985. С. 190—221.

Триасовая рифтовая система Западно-Сибирской плиты, ее влияние на структуру и нефтегазоносность платформенного мезозойско-кайнозойского чехла // В. С. Сурков, А. А. Трофимук, О. Г. Жеро и др. // Геология и геофизика. 1972. № 8. С. 3—16.

Cochran J. R. A model for development of Red Sea // Bull. Amer. Assoc. of Petrol. Geol. 1983. Vol. 67. P. 41—69.



РУДНОЕ И НЕРУДНОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

А. Л. САХНОВСКИЙ (ВСЕГЕИ)

Классификация рудных объектов и типовые схемы поисков при глубинном геологическом картировании

Глубинное геологическое картирование (ГГК) — вид регионального изучения территории нашей страны, находящий все более широкое применение в практике производственных геологических организаций. Задачей ГГК является изучение геологического строения территории под покровом платформенных отложений и ее прогнозная оценка в отношении погребенных месторождений, залегающих в покровных осадочных или вулканогенных образованиях, в зонах выветривания и в складчатом фундаменте. Основа методики ГГК — комплексирование бурения с геофизическими, геохимическими исследованиями и дешифрированием материалов аэро- и космических съемок [4, 5, 7, 14].

Ниже рассматриваются вопросы классификации рудных объектов и выбора оптимальных вариантов проведения общих поисков при крупномасштабном ГГК на площадях, перспективность которых определяется месторождениями, залегающими в складчатом фундаменте, перекрытом осадочными платформенными отложениями мощностью от десятков до первых сотен метров. Для ГГК такие площади наиболее типичны [5, 7, 14].

Под оптимальными вариантами проведения общих поисков понимаются такие, которые обеспечивают надежное с вероятностью, близкой к 1) выявление

14. Girdler R. W. The evolution of the Gulf of Aden and Red Sea in space and time // Deep Sea Research. 1984. Vol. 31. № 6—8. P. 747—763.
15. Tamsitt D. Comments on the development of rifts and transform faults during the continental breakup; examples from the Gulf of Aden and Northern Red Sea // Tectonophysics. 1984. Vol. 104. № 1—2. P. 35—46.

Принята редколлегией 25 апреля 1988 г.

ние промышленных рудных полей (в некоторых случаях месторождений) на площади работ и оценку их прогнозных ресурсов категории P_2 при минимуме затрат.

Излагаемый нами подход к решению такой задачи базируется на анализе производственного опыта ГГК, а также на результатах опытно-методических работ, проводившихся в течение 15 лет Центральной опытно-методической экспедицией ВСЕГЕИ совместно с производственными партиями ГГК в различных регионах страны.

Важнейшие вопросы оптимизации общих поисков при ГГК — комплексирование геофизических, геохимических и буровых работ, ориентированных на более детальное по сравнению с другими объектами ГГК изучение рудо-контролирующих геологических тел, геофизических и геохимических поисковых признаков, а также комплексная интерпретация материалов при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых, выделении перспективных участков и оценке их прогнозных ресурсов. Очевидно, что эти вопросы тесно связаны и должны рассматриваться с учетом особенностей прогнозируемых рудных формаций, мощности и состава покровных отложений, а также ландшафтно-геохимических условий. Наиболее полным решением этой проблемы является раз-

работка для всех промышленно важных рудных формаций прогнозно-поисковых комплексов [9], детализированных до отдельной стадии и вида работ (в нашем случае — крупномасштабное ГГК) и представляющих собой взаимоувязанные схемы комплексирования методов и комплексной интерпретации результатов их применения, ориентированные на последовательную (поэтапную) локализацию перспективных площадей, выявление объектов поисков и оценку их прогнозных ресурсов.

Вопросы комплексирования методов и комплексной интерпретации материалов в различных аспектах рассматривались в трудах многих исследователей [1, 2, 8, 9, 11]. Применительно к методу поисков при ГГК они изложены в работах [5, 7, 14]. Поэтому ниже эти вопросы анализируются лишь с точки зрения зависимости основных особенностей поискового процесса при ГГК от геологических характеристик рудной формации, определяющей перспективы площади.

Общую задачу разработки оптимального варианта поисковых работ можно разделить на две последовательно решаемые частные задачи:

1. Выбор оптимальной структуры поискового процесса, под которой понимается: а) последовательность и геологическое содержание этапов локализации перспективных площадей (ЭЛ); б) набор геофизических, геохимических и других методов на каждом ЭЛ; в) последовательность и геологическое содержание операций комплексной интерпретации материалов, увязанной с ЭЛ.

2. Выбор оптимальных параметров сетей геофизических и геохимических работ на каждом из ЭЛ.

Способы определения оптимального набора поисковых методов и оптимизации параметров сетей исследований при ГГК изложены в работе [14] и здесь не рассматриваются.

Определяющая составная часть структуры поискового процесса — последовательность и геологическое содержание ЭЛ. Как показывает опыт работ, в большинстве случаев при ГГК оптимальной является структура поискового процесса с 3—4 ЭЛ, первый из которых совпадает с опережающими

ми геофизическими и геохимическими работами на всей площади рудного района (зоны), а последний заключается в оценке прогнозных ресурсов выявленных рудных полей (месторождений). Больше количество ЭЛ, вследствие увеличения сроков работ и организационных сложностей, как правило, нерационально.

Конкретные варианты последовательной локализации перспективных площадей целесообразно рассматривать в рамках классификации рудных объектов. Классификация, пригодная для этих целей, должна включать объекты двух иерархических уровней — рудные районы и зоны (объекты изучения крупномасштабного ГГК и объекты поисков), а также рудные поля (месторождения (объекты прогнозирования)*. Это требование может быть выполнено при раздельном построении классификаций для объектов каждого из двух уровней и последующей типизации сочетаний выделенных в классификациях групп рудных районов и рудных полей.

В качестве основы для построения классификации рудных районов (табл. 1), а также рудных полей (табл. 2) принят структурно-вещный принцип, наиболее близкий тому, который применен в работе [3]. Классификация рудных районов построена на использовании только геологических признаков; в классификации рудных полей типы выделяются по геологическим признакам, а выделение подтипов производится с учетом контрастности физических свойств рудных тел и рудопродуктивных метасоматов. Последнее обусловлено тем, что этими характеристиками непосредственно определяется тип главных условий ГГК поисковых признаков (геофизических в случае рудных полей подтипа «а», геохимических в случае подтипа «в», геофизических и геохимических в случае подтипа «б»). Попытка более или менее эквивалентной замены рассматриваемого классификационного признака какими-либо геологическими параметрами приводит к усложнению классификации и к ухищ

* При дальнейшем изложении для краткости говорится только о рудных районах и рудных полях.

Таблица 1

Классификация рудных районов и зон для прогнозной оценки складчатого фундамента при глубинном геологическом картировании

Типы	Подтип А. Рудные районы и зоны с устойчивой пространственной связью рудных полей и месторождений с определенными рудоносными уровнями стратифицированных комплексов, расслоенных интрузивных или реоморфических тел, с контактами плутонов	Подтип Б. Рудные районы и зоны без устойчивой пространственной связи рудных полей и месторождений с рудоносными уровнями стратифицированных комплексов, расслоенных интрузивных или реоморфических тел, с контактами плутонов
I. Рудные районы и зоны, контролируемые массивами интрузивных или ультраметаморфических пород, гранито-гнейсовыми куполами, интрузивными ареалами рудоносной формации ¹	Группа IA (хромитовая, шеелитовая, кварцевая, касситерит-кварцевая, титан-железорудная ³)	Группа IB (золото-антимонитовая, березитовая, медно-порфировая, мусковитовых пегматитов)
II. Рудные районы и зоны, контролируемые вулканическими постройками, ареалами развития вулкаников, метавулкаников рудоносной формации	Группа IIA (медно-цинковая колчеданная, колчеданно-полиметаллическая)	Группа IIB (касситерит-сульфидная, золото-серебряная)
III. Рудные районы и зоны, контролируемые частями разреза стратифицированного осадочного, вулканогенно-осадочного, метаморфического рудоносного комплекса, стратифицированными рудоносными формациями	Группа IIIA (барит-свинцово-цинковая, карбонатная, графитовосных гнейсов)	—
IV. Рудные районы и зоны, контролируемые региональными разрывными, складчато-разрывными, купольно-разрывными структурами, приразломными зонами развития диафтореза, региональных гидротермально-метасоматических образований рудоносной формации ²	—	Группа IVB (золото-серебро-свинцово-цинковая, бериллиеносных полевых метасоматитов)

¹ Здесь и ниже термин «рудоносная формация» применяется в его широком значении и обозначает разновидность геологической формации..., в пространственной и временной связи с которой (генетически или парагенетически) находятся промышленно ценные концентрации полезных ископаемых» [10]. Зоны развития диафтореза и региональных гидротермально-метасоматических образований при ГГК имеют рудоконтролирующее значение в тех случаях, когда они создают достаточно контрастные физические поля; во всех остальных случаях для рудных районов типа IV главную рудоконтролирующую роль играют тектонические структуры. ³ Здесь и далее в скобках — примеры рудных формаций

шению возможностей ее использования для выбора структуры поискового процесса.

Из анализа большого количества литературных источников следует, что наиболее типичны сочетания рудных районов группы IA с рудными полями типа 1, рудных районов группы IIA и IIIA с рудными полями типа 3, рудных районов группы IB, IIB, IVB с рудными полями типа 2 и 4. С учетом трех подтипов (а, б, в) в каждом из типов рудных полей (см. табл. 2) это приводит к 27 сочетаниям групп рудных районов и рудных полей, из которых три сочетания — IIA-3б, IVB-2а, IIB-2в нехарактерны. Таким образом, выделяются

24 сочетания групп рудных районов и рудных полей, которые могут рассматриваться как типовые рудоносные площади; по наиболее существенным особенностям поискового процесса они разделяются на шесть групп: 1) IA-1а, IIA-3а, IIIA-3а, 2) IA-1б, IIA-3б, IIIA-3б, 3) IA-1в, IIA-3в, IIIA-3в, 4) IB-2а, IIB-2а, IIB-4а, IVB-4а, 5) IB-2б, IIB-2б, IIB-4б, IVB-2б, IVB-4б, 6) IB-2в, IIB-4в, IIB-4в, IVB-2в, IVB-4в.

Наиболее существенны различия поискового процесса для площадей с рудными районами подтипа А (первые три группы рудоносных площадей) и подтипа Б (остальные три группы). В первом случае геофизические и геохими-

Таблица 2

Классификация рудных полей и месторождений для прогнозной оценки складчатого

фундамента при глубинном геологическом картировании

Типы	Подтип а. Рудные поля и месторождения с контрастными по физическим свойствам рудными телами ¹	Подтип б. Рудные поля и месторождения с контрастными по физическим свойствам ² рудопродуктивными гидротермально-метасоматическими образованиями площадного распространения, 0,1л — 10л км ²	Подтип в. Рудные поля и месторождения без контрастных по физическим свойствам рудных тел, рудопродуктивных гидротермально-метасоматических образований площадного распространения
1. Рудные поля и месторождения, контролируемые локальными структурными элементами контактовой поверхности плутонов, фациями интрузивных или реоморфических пород	Группа 1а (хромитовая, титан-железорудная) ³	Группа 1б (шеелитовая скарновая, касситеритовая скарновая)	Группа 1в (касситерит-кварцевая грейзеновая, флюорит-грейзеновая)
2. Рудные поля и месторождения, контролируемые малыми интрузивными, пегматитовыми, субвулканическими, жерловыми, экструзивными телами	Группа 2а (сульфидная медно-никелевая-аллареченский тип)	Группа 2б (медно-порфировая, касситерит-сильфидно-сульфидная)	Группа 2в (золото-кварцевая, редкометалльных пегматитов, керамических пегматитов, мусковитовых пегматитов)
3. Рудные поля и месторождения, контролируемые фациями и локальными структурными элементами стратифицированных формаций (вулканогенных, осадочных, метаморфических)	Группа 3а (барит-свинцово-цинковая карбонатная, железистых кварцитов, графитовых гнейсов)	Группа 3б (киноварно-флюорит-антимонитовая жаспероидная)	Группа 3в (золоторудная черносланцевая, цеолитизированных туфов)
4. Рудные поля и месторождения, контролируемые локальными разрывными, складчато-разрывными, купольно-разрывными структурами	Группа 4а (витерит-баритовая, золоторудно-свинцово-цинковая)	Группа 4б (золото-сульфидная, золоторудная иттенбитовая)	Группа 4в (золото-кварцевая)

¹ По плотности, магнитным свойствам, поляризуемости, электрическому сопротивлению (по отношению к вмещающим породам). ² По плотности, магнитным свойствам, поляризуемости (по отношению к вмещающим породам). ³ Здесь и далее в скобках — примеры рудных формаций.

ческие работы, непосредственно ориентированные на выявление поисковых признаков, как правило, целесообразно проводить на основном этапе ГГК на относительно локальных площадях, соответствующих выходу на поверхность фундамента потенциально рудоконтролирующих интрузивных фаций плутонов, их контактов, стратифицированных осадочных, вулканогенных, метаморфических формаций. Во втором случае эти работы должны обеспечить возможность анализа закономерностей размещения полезных ископаемых на всей площади рудного района, и их целесообразно проводить на опережающем этапе ГГК с последующей детализацией выявленных аномалий на основном этапе.

В первом случае геофизические исследования опережающего этапа преимущественно ориентированы на изучение геологического строения фундамента, а геохимические — на выявление перспектив площади в отношении новых для нее типов полезных ископаемых, а также на изучение основных черт геохимической зональности рудного района. Во втором случае к этим задачам добавляется выявление поисковых признаков прогнозируемой

рудной формации, что может потребовать сгущения сетей опережающих геохимических или геофизических исследований, увеличения точности измерений или включения в состав опережающих работ дополнительных геофизических или геохимических методов.

При оценке прогнозных ресурсов рудных полей во всех случаях прежде всего учитываются особенности геологической обстановки, определяющие характер и масштабы оруденения. В метаморфизма и др.).

При оценке прогнозных ресурсов рудных полей во всех случаях прежде всего учитываются особенности геологической обстановки, определяющие характер и масштабы оруденения. В метаморфизма и др.).

Более конкретная характеристика каждого ЭЛ (этап локализации перспективных площадей) отделен от последовательности ЭЛ может быть представлен приведенной для каждого из 24 типов рудноносных площадей. В табл. 3, табл. 3), обозначающих те типы ЭГС, которая составлена на основании описания элементов геологического строения поисковых работ при ГГК, приведен перечень главных типов рудоконтролирующих элементов геологического строения (ЭГС) и поисковых признаков данного ЭЛ (профильные или площадные геофизические и геохимические

их выявления и изучения, а также их символические обозначения, используемые далее (табл. 4) для описания типовых последовательностей локализации перспективных площадей. В этот перечень не включены потенциально рудоконтролирующие ЭГС, которые с достаточной степенью детальности изучаются при решении картировочных задач крупномасштабного ГГК (тектонической обстановки, определяющие геологические блоки, фации регионального характера и масштабы оруденения. В метаморфизма и др.).

В табл. 4 типовые последовательности локализации площадей также объединены в шесть групп; с учетом признаков геофизических аномалий, соединяемых рудными телами (группы 1 и 4), рудоконтролирующими метасоматитами (2 и 5) и т.д. В символической записи типовых последовательностей локализации перспективных площадей, каждый ЭЛ (этап локализации перспективных площадей) отделен от последовательности ЭЛ может быть представлен приведенной для каждого из 24 типов рудноносных площадей. В табл. 3, табл. 3), обозначающих те типы ЭГС, которая составлена на основании описания элементов геологического строения поисковых работ при ГГК, приведен перечень главных типов рудоконтролирующих элементов геологического строения (ЭГС) и поисковых признаков данного ЭЛ (профильные или площадные геофизические и геохимические

ские исследования, бурение единичных скважин, каротаж и др.). Конкретный набор геофизических и геохимических методов определяется типами изучаемых ЭГС и поисковых признаков (см. табл. 3) с учетом мощности и состава покровных отложений, ландшафтно-геохимической обстановки, а также возможности использования результатов работ, проведенных на предшествующих ЭЛ и в процессе составления геологической карты фундамента. Кроме того, в этот комплекс могут входить геофизические методы (КМПВ, ВЭЗ), обеспечивающие возможность введения поправок, учитывающих влияние рыхлых отложений при интерпретации данных других методов. Количественные способы оптимизации набора поисковых геофизических и геохимических методов приведены в работе [14].

В процессе комплексной интерпретации материалов на каждом из ЭЛ решаются две взаимосвязанные задачи. Прежде всего, комплексная интерпретация материалов каждого ЭЛ должна дать ответ на вопрос, следует ли на изученной площади проводить дальнейшие поиски и, если следует, то на какой ее части (или частях). Кроме того, на каждом ЭЛ на основании

Таблица

Типы рудоконтролирующих элементов геологического строения, поисковых геофизических и геохимических признаков при крупномасштабном ГГК и общих поисках

Рудоконтролирующие элементы	Индекс рудоконтролирующих элементов	Наиболее информативные геофизические и геохимические методы, используемые при выявлении и детализации (при мощности покровных отложений 50—150 м)	Информативность материалов аэро- и космических съемок
Крупные структурные элементы интрузивных или реоморфических тел, гранито-гнейсовых куполов, интрузивных ареалов, надинтрузивных зон, фации контактового метаморфизма	I	Гравиразведка и магниторазведка, отдельные профили сейсморазведки КМПВ и МОВ	Средняя или низкая
Контакты, фации, элементы расслоенности интрузивных или реоморфических тел	1	То же	То же
Крупные структурные элементы вулканических построек, ареалов развития вулканистов, стратифицированные вулканогенные и осадочно-вулканогенные формации	II	„	„
Малые интрузивные, пегматитовые, субвулканические, жерловые, экструзивные тела, вулканические купола	2	Гравиразведка и магниторазведка	Низкая
Стратифицированные осадочные, вулканогенно-осадочные, метаморфические формации	III	Гравиразведка, сейсморазведка КМПВ	Средняя или низкая
Осадочные и вулканогенно-осадочные		Гравиразведка, магниторазведка, при графитовой или сульфидной минерализации ВП	То же
Метаморфические		Гравиразведка, сейсморазведка КМПВ	
Фации и локальные структурные элементы стратифицированных формаций	3	Гравиразведка, сейсморазведка КМПВ	
Осадочных и вулканогенно-осадочных		Гравиразведка, магниторазведка	
Вулканогенных и осадочно-вулканогенных		Гравиразведка, магниторазведка, при графитовой или сульфидной минерализации ВП	
Метаморфических		Гравиразведка, магниторазведка, сейсморазведка КМПВ и МОВ, водно-геллевая и газортутная съемка	Высокая или средняя
Региональные разрывные структуры, участки их изгиба, пересечения, сочленения, складчато-разрывные, купольно-разрывные структуры, их крупные элементы	IV	То же	То же
Локальные разрывные, складчато-разрывные и купольно-разрывные структуры	4	То же	То же
Региональные гидротермально-метасоматические формации, приразломные зоны развития метаморфо-метасоматических формаций и диафтореза	V	Гравиразведка, магниторазведка, при графитовой или сульфидной минерализации ВП, различные виды каротажа	Низкая
Локальные (рудопродуктивные) гидротермально-метасоматические формации, а также создаваемые ими геофизические аномалии	5	Гравиразведка, магниторазведка, при графитовой или сульфидной минерализации ВП, ВЭЗ—ВП ¹ , различные виды каротажа	То же
Геохимические ореолы рудных районов, элементы их зональности	VI	Атмогеохимический, гидрогеохимический, биогеохимический метод, различные виды изучения наложенных ореолов в почвенном и подпочвенном слое, геохимическое картирование по керну картировочных и поисковых скважин, глубинная литогеохимия, ЧИМ ²	
Геохимические ореолы рудных полей, в отдельных случаях месторождений	6		

Продолжение табл. 3

Рудоконтролирующие элементы	Индекс рудоконтролирующих элементов	Наиболее информативные геофизические и геохимические методы, используемые при выявлении и детализации (при мощности покровных отложений 50—150 м)	Информативность материалов аэро- и космических съемок
Геофизические аномалии, создаваемые рудными телами и их совокупностями	7	Гравиразведка, магниторазведка, электроразведка ВП ³ , ВЭЗ—ВП ⁴ , МПП ⁵ , различные методы каротажа, методы скважинной геофизики ⁶ . При изучении зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения — электроразведка ВЭЗ, сейсморазведка КМПВ, гравиразведка	

¹ При оценке прогнозных ресурсов рудных полей подтипа «б» в случае сульфидной или графитовой минерализации в рудопродуктивных метасоматитах. ² При оценке прогнозных ресурсов рудных полей подтипа «в», иногда «б». ³ В случае рудных тел с вкрапленными, прожилково-вкрапленными сульфидными или графитовыми рудами. ⁴ При оценке прогнозных ресурсов рудных полей с вкрапленно-прожилковыми или вкрапленными сульфидными или графитовыми рудами. ⁵ При выявлении и оценке прогнозных ресурсов рудных полей со сплошными или брекчиевидными сульфидными рудами. ⁶ При оценке прогнозных ресурсов рудных полей подтипа «а».

Таблица 4

Типовые схемы последовательной локализации перспективных площадей

Индексы типовых рудоносных площадей	Последовательность этапов локализации ¹
IA-1a, IIA-3a, IIIA-3a	(I, II, III, IV) ² , VI → (1, 3, 4) ³ → (7, 6) ⁴ → 7 ⁵
IA-1b, IIA-3b, IIIA-3b	(I, II, III, IV) ² , VI → (1, 3, 4) ³ → (5, 6) ⁴ → 7 ⁵
IA-1в, IIA-3в, IIIA-3в	(I, II, III, IV) ² , VI → (1, 3, 4) ³ → 6 → 6 ⁵
IB-2a, IB-4a, IIB-2a, IIB-4a, IVB-4a	(I, II) ⁶ , IV, V, VI, (7, 6) ⁴ → (2) ⁷ , 4, (7, 6) ⁴ → 7 ⁵
IB-2б, IB-4б, IIB-2б, IIB-4б, IVB-2б, IVB-4б	(I, II) ⁶ , IV, V, VI, (5, 6) ⁴ → (2) ⁷ , 4, (5, 6) ⁴ → 5, 6 ⁵
IB-2в, IB-4в, IIB-4в, IVB-2в, IVB-4в	(I, II) ⁶ , IV, V, VI, 6 → (2) ⁷ , 4, 6 → 6 ⁵

¹ Индексы рудоконтролирующих элементов см. в табл. 3. ² I — в случае рудных районов группы IA; II и IV — в случае рудных районов группы IIA; III и IV — в случае рудных районов группы IIIA. ³ 1 — в случае рудных полей типа 1; 3 и 4 — в случае рудных полей типа 3. ⁴ В зависимости от условий ведения работ, один или оба поисковых признака. ⁵ Оценка прогнозных ресурсов. ⁶ 1 — в случае рудных районов группы IB; II — в случае рудных районов группы IIB. ⁷ В случае рудных полей типа 2.

анализа всей полученной информации уточняются и детализируются закономерности размещения полезных ископаемых в пределах изучаемого рудного района, рудоконтролирующие факторы и критерии прогнозирования в том понимании этих терминов, которое приведено в работе [10]. Уточненные критерии прогнозирования используются как на данном ЭЛ, так и на последующих.

Элементарными объектами исследования при комплексной интерпретации

являются прежде всего ЭГС и поисковые признаки, которые были объектом полевого изучения на данном ЭЛ. Кроме того, по результатам работ данного ЭЛ нередко можно выявить или детализировать хотя бы часть ЭГС или поисковых признаков, которые должны целенаправленно изучаться на следующих ЭЛ. В тех случаях, когда это удастся, может оказаться возможным сокращение объемов последующих работ и снижение затрат. И, наконец, на любом ЭЛ может возникнуть необходи-

мость переинтерпретации материалов для уточнения данных о рудоконтролирующих ЭГС или поисковых признаках, изучавшихся на предыдущих ЭЛ.

Между схемой последовательности ЭЛ и схемой последовательности комплексной интерпретации существует однозначное соответствие, что лучше всего показать на примере. Для рудоносных площадей типа IА-1а схема последовательности ЭЛ выражается формулой (см. табл. 4) I, VI → 1 → 7,6 → 7, а соответствующая ей схема последовательности комплексной интерпретации: I, VI (1, 7, 6) → 1 (7, 6) [I, VI] → 7, 6 [I, VI, 1] → 7 [I, IV, 1, 6], где в круглых скобках показаны рудоконтролирующие ЭГС и поисковые признаки, выявляемые или детализируемые в зависимости от разрешающей способности имеющихся материалов, а в квадратных — детализируемые в случае необходимости путем переинтерпретации материалов. Аналогично выводятся схемы последовательности комплексной интерпретации для остальных 23 типов рудоносных площадей.

Из рассмотренной последовательности комплексной интерпретации выпадает процесс составления геохимической схемы фундамента, а также схемы распространения гидротермально-метасоматических образований по результатам изучения керна картировочных скважин. Такие схемы целесообразно составлять для любых типов рудоносных площадей. Несмотря на редкую (как правило, не более одной скважины на 2 км²) и неравномерную сеть опробования, эти схемы обычно достаточно информативны и на завершающем ЭЛ их использование в комплексе с другими материалами позволяет более надежно выделить рудные поля, уточнить их формационную принадлежность и уровень эрозионного среза.

Не останавливаясь на конкретных приемах интерпретации [1, 6, 12, 13 и др.], перечислим наиболее типичные операции: 1) опознание потенциально рудоконтролирующих ЭГС и поисковых признаков; 2) изучение формы и внутренней структуры потенциально рудоконтролирующих геологических тел, иногда путем объемного геолого-геофизического моделирования [12,

13]; 3) уточнение их рудоконтролирующей роли по комплексу структурных и вещественных признаков; 4) анализ пространственных связей проявлений полезных ископаемых и поисковых признаков с региональным геохимическим полем, со всеми типами геологических тел и структур на площади изучения ГГК и общих поисков) или рудных полей (объектов прогнозирования) данной рудной формации. Элементами обеих моделей являются рудоконтролирующие геологические тела соответствующего ранга (см. табл. 3) и объекты прогнозирования (в модели рудного района — рудное поле, месторождение, а в модели рудного поля — месторождение — рудное тело). Кроме элементов, принадлежностью геолого-геофизического моделирования рудных тел или тел рудопродуктивных метасоматитов).

Процесс комплексной интерпретации носит как качественный, так и количественный характер. Используются алгоритмы трансформации физических полей и геохимического поля (операции 1, 2, 6), различные модификации метода подбора при построении объемных геолого-геофизических моделей (операции 2, 6), методы теории информации (операции 1, 3, 4), алгоритмы распознавания (операции 1, 3, 6), корреляционный и факторный анализ (операции 3, 4, 5) и другие количественные методы.

Приведенные типовые схемы последовательности ЭЛ (см. табл. 4) и соответствующие им схемы последовательности комплексной интерпретации в совокупности могут рассматриваться как типовые схемы поискового процесса. Они могут применяться в качестве исходных при разработке прогнозно-поисковых комплексов, а также при выборе оптимальных вариантов проведения поисковых работ при ГГК (кемпирсайского типа), барит-свинцово-цинковой карбонатной рудных формаций.

Корректировка типовой схемы и конкретизация при разработке пр

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровко Н. Н. Оптимизация геофизических исследований при поисках рудных месторождений. — Л.: Недра, 1979.
2. Бурдэ А. И. Теоретические основы и способы определения комплекса методов при региональных геологосъемочных и поисковых работах. — Л.: Недра, 1978.
3. Вольфсон Ф. И., Яковлев П. Д. Структура рудных полей и месторождений: Учебное пособие для вузов. — М.: Недра, 1985.
4. Гальперов Г. В., Перцов А. В., Брусничкина Н. А. Аэрометоды геологического изучения районов двухъярусного строения (на примере Тургайского прогиба). — Л.: Недра, 1979.
5. Геофизические исследования при крупномасштабном глубинном геологическом картировании рудных районов/М. Н. Столпнер, Н. Н. Громова, И. Г. Розе и др. — М.: 1979 (Регион. разведка и промысл. геофизика. Обзор ВИЭМС).
6. Геохимические методы поисков рудных месторождений. Ч. 2. — Новосибирск: Наука, 1982.
7. Глубинное геологическое картирование/П. А. Литвин, М. Б. Рыбаков, М. Л. Сахновский и др. — Л.: Недра, 1981.
8. Комплексирование методов разведочной геофизики. Справочник геофизика/Под ред. В. В. Бродовского, А. А. Никитина. — М.: Недра, 1984.
9. Кривоцов А. И., Нарсеев В. А. Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы//Сов. геология. 1983. № 1. С. 17—27.
10. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые/Под ред. Д. В. Рундквиста. — Л.: Недра, 1986.
11. Методические рекомендации по комплексированию геофизических методов при крупномасштабных геологосъемочных работах и поисках месторождений твердых полезных ископаемых/М. Н. Столпнер, А. С. Барышев, А. И. Бурдэ и др. — Л.: НПО «Рудгеофизика», 1983.
12. Моделирование геологических структур на основе геолого-геофизических данных с целью ускорения поисков и разведки рудных полезных ископаемых: Тезисы докл. Всесоюз. совещ. 15—17 апреля 1986 г. — Днепропетровск, 1986.
13. Объемное геологическое картирование редкометалльных рудных районов/А. А. Духовский, И. И. Акрамовский, В. С. Аплонин и др. — Л.: Недра, 1981.
14. Прогнозирование и поиски эндогенных месторождений при глубинном геологическом картировании. Методические рекомендации/М. Л. Сахновский, П. А. Литвин, Е. А. Мазина и др. — Л.: ВСЕГЕИ, 1980.

Принята редколлегией 30 января 1989 г.

Комплексная геолого-поисковая модель медно-порфирового месторождения Баймской зоны

Все медно-порфировые системы, несмотря на многообразие палеотектонических обстановок, в которых они формировались, обладают рядом общих элементов [5]. К числу последних относятся: породы основания вулканогенного пояса, с плутогенными составляющими которого связано образование медно-порфировых систем; формации нижних частей разреза вулканоплутонического пояса; фанеритовые интрузивы главных фаз продуктивной плутогенной формации; порфировые штоки продуктивной формации; брекчиевые тела, зарождающиеся в апикальных частях порфировых интрузивов, прорывающие последние и надстраивающие их по вертикали с выходом в кратерные зоны стратовулканов; зоны пород, претерпевших гидротермально-метасоматические изменения; ореолы пиритизации; сопряженная рудная минерализация; рудные тела.

Конкретное выражение каждого из перечисленных элементов обуславливается тем, в какой позиции (эпикратонной, эпимногосинклинальной, эпизвгосинклинальной или звгосинклинальной) находится данная медно-порфировая система, а также особенностями строения района месторождения, и в конечном счете оно определяет специфику месторождений таких металлогенических единиц, как рудный район и рудный узел, не говоря уже о зоне и поясе. Поэтому для поисковых целей, особенно в новых районах, очень важна разработка региональной геологической модели, в которой было бы не только конкретизировано выражение ее главных элементов, но и обоснована возможность использования их в качестве поисковых признаков.

Большинство известных медно-порфировых объектов Западной Чукотки связано с формированием позднечукоцкого Курьинского вулканоплутонического пояса, простирающегося в северо-западном направлении согласно основным линейным Алазейско-Олойской геосинклинально-складчатой зоны

[2, 8]. Наиболее изучены эти объекты в Баймской металлогенической зоне приуроченной к юго-восточному блоку указанного пояса.

В основании пояса здесь залегают вторично-геосинклинальные формации (снизу—вверх): терригенная андезитовая базальтовая J_3O — km , андезитовая J_3V_1 , базальт-андезитовая J_3V_2 , габбро-диоритовая J_3 , нарастающая разрез главного геосинклинального комплекса, представленного (снизу—вверх): липарит-базальтовой контрастной P_1 , габбро-гипербазитовой T_1 флишовой J_2-3 формациями. Курьинский пояс образован вулканогенно-верхнемолассовой формацией и поздневожско-раннемеловой вулканоплутонической ассоциацией (ВПА), объединяющей вулканогенные трахиандезитовую и трахиандезит-дацитовую субформации J_3V_3 и плутогенную монцонитовую формацию K_1 . К монцонитовой формации отнесены интрузивные породы егдэгкычского комплекса, сформировавшиеся в три фазы [4]. Ранняя фаза, занимающая около 70% объема комплекса, представлена крупно-среднезернистыми монцонитами монцодиоритами. Второй фазе принадлежат средне-мелкозернистые породы переменного состава — от кварцевых монцонитов до кварцевых сиенитов. Завершилось образование комплекса внедрением малых тел кварцевых монцонит-порфиров, сопровождавшемся формированием брекчиевых тел.

Медно-порфировое оруденение охватывает в основном порфировые интрузивы, в меньшей степени брекчиевые тела и совсем незначительно вмещающие породы. Тесная пространственная и временная связь этого оруденения с кварцевыми монцонит-порфирами позволяет считать их рудоносными, а монцонитовую формацию и поздневожско-раннемеловую ВПА в целом продуктивными.

Перекрывается Курьинский пояс разованиями Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, представленного данной территории андезитовой K_1 дацитовую K_2 субформациями, объе-

ченными в позднемеловую ВПА. От Курьинского Охотско-Чукотский пояс отделен углито-терригенной молассовой формацией K_1 .

Рассмотрим три наиболее изученных рудных поля Баймской зоны, расположенных в ее центральной части, — Песчанское, Находкинское и Юряхское.

Песчанское рудное поле приурочено к юго-восточному эндоконтакту полихронного Егдэгкычского массива, прорывающего верхнеюрские вулканогенно-терригенные отложения. Более 70% территории рудного поля сложено интрузивными породами монцонитовой формации. Незначительно распространены небольшие штоки диоритовых порфиров и дайки габбро-диоритовых порфиров позднемеловой ВПА. Остальную часть поля занимают туфопесчаники, андезит-дациты и их туфы верхнего подъяруса средневожского яруса, интенсивно метаморфизованные на контакте с интрузивными породами.

Медно-порфировое оруденение контролируется тремя удлиненными штокообразными телами кварцевых монцонит-порфиров, трассирующими ослабленную зону меридионального простирания и объединяющимися на глубине в единое пластинообразное тело.

Гидротермально-метасоматические изменения выражены в калишпатизации, биотитизации, филлитизации и пропилитизации хлорит-эпидотовой фации. Гидротермально-метасоматическая зональность образуется последовательной сменой от осевых частей порфировых тел в породы рамы следующих зон: «кварцевые ядра» — калишпат-биотитовая — кварц-серицитовая — пропилитовая.

Промышленно значимая рудная минерализация развита между «кварцевыми ядрами» и зоной пропилитов. Рудные тела, выделенные по заданным бортовым содержаниям условной меди, повторяют очертания порфировых интрузивов. В руде обнаружено более 30 рудных минералов. Основные из них принадлежат к кварц-молибденитовой, халькопирит-пиритовой, халькопирит-блеклорудно-борнитовой и кварц-карбонат-полисульфидной ассоциациям, обнаруживающим тесную пространственную связь с зонами изменений. Первая и третья ассоциации развиты

в калишпат-биотитовых и внутренней частях зоны кварц-серицитовых метасоматитов, вторая приурочена к краевым частям зоны кварц-серицитовых изменений, незначительно распространяясь в пропилиты. Четвертая ассоциация отмечается как внутри порфировых тел, так и за их пределами, при преобладающем развитии в зоне пропилитов. По комплексу данных установлено, что эрозионный срез Песчанского рудного поля отвечает нижнерудному уровню медно-порфировой системы.

Находкинское рудное поле совпадает с одноименной глубоко эродированной вулканической постройкой центрального типа, расположенной на незначительном удалении от Егдэгкычского массива. На его территории выделено пять рудных участков, медно-порфировое и золото-серебросодержащее полисульфидное оруденение которых контролируется интрузивами кварцевых монцонит-порфиров и надстраивающими их брекчиевыми телами. Порфировые и брекчиевые тела приурочены к кольцевой зоне повышенной проницаемости, развитой в экзо-эндоконтактах полихронного Верхне-Баймского массива, обнажающегося в центре вулканической структуры. Кольцевому распределению подчинены также штокообразные тела порфировидных пород продуктивной монцонитовой формации — монцонитов, монцодиоритов, кварцевых монцонитов; эти тела (включая кварцевые монцонит-порфиры) обнажаются в восточной половине кольцевой зоны, а брекчиевые — в западной. Верхне-Баймский массив образован в основном диоритовыми порфиритами, гранодиорит-порфирами, трахидацитами и трахиандезитами позднеюрского субвулканического комплекса. Строение массива осложнено штокообразными телами монцонитов, штоками и дайками позднемеловых кварцевых диоритовых порфиров омчакского комплекса.

Продукты гидротермально-метасоматических изменений Находкинского рудного поля представлены биотитовыми, кварц-серицитовыми метасоматитами, «кварцевыми ядрами» и пропилитами хлорит-эпидотовой фации. Распределение метасоматитов в пространстве подчинено порфировым интрузи-

вам и брекчиевым телам. Для зональности с порфировым интрузивом в центре характерна следующая последовательная смена зон от центра интрузива: биотитовая — кварц-серицитовая — «кварцевое ядро» — кварц-серицитовая — пропилитовая. У метасоматитов, контролируемых брекчиевыми телами, биотитовая зона отсутствует; центральное положение занимает «кварцевое ядро». Частные зоны кварц-серицитовых метасоматитов, расположенные в кольцевой структуре и сливающиеся друг с другом, обрамлены зоной пропилитов, охватывающей волжские вулканы.

Рудные тела перспективных участков конформны штокам кварцевых монцитит-порфиров и брекчиевым телам: медно-порфировые руды ряда участков ассоциируют со штоками кварцевых монцитит-порфиров, а золото-серебросодержащие полиметаллические — характерны для брекчиевых тел. Различия в составе рудных тел обусловлены характером распределения рудообразующих минеральных ассоциаций — кварц-молибденитовой, халькопирит-пиритовой, борнит-халькопирит-блеклорудной и кварц-карбонат-полисульфидной, которые развиты на фоне пиритизации, охватывающей зону кварц-серицитовых метасоматитов и большую часть зоны пропилитов. Рудные тела располагаются между «кварцевыми ядрами» и зоной пропилитов, но при этом лишь незначительно выходят за пределы порфировых и брекчиевых тел. По комплексу признаков установлено, что на эрозионной поверхности рудного поля обнажены рудный и верхнерудный уровни медно-порфировой системы.

Юряхское рудное поле приурочено к одноименной структуре типа «кальдера обрушения». Рудное поле объединяет несколько участков, в пределах которых оруденение контролируется дайкообразными телами кварцевых монцитит-порфиров и связанными с ними брекчиевыми телами. Основную часть поля занимают терригенно-вулканогенные и вулканогенные породы средне- и верхневолжского подъярусов. В центральной его части располагаются Юряхский массив, сложенный породами габбро-диоритовой, трахиандезит-дацитовой и монцититовой формаций.

Маломощные дайки монцититового состава трассируют кольцевые ослабленные зоны. Продукты изменений представлены кварц-серицитовыми метасоматитами, «кварцевыми ядрами» и пропилитами хлорит-эпидитовой фации. Для метасоматитов характерно следующее распределение зон относительно тел кварцевых монцитит-порфиров и брекчий: «кварцевое ядро» — кварц-серицитовая — пропилитовая. Рудное поле в целом характеризуется преобладающим развитием пропилитов по интрузивным и вулканогенным породам, на фоне которых небольшими окнами выделяются участки кварц-серицитовых изменений с «кварцевыми ядрами» в осевых частях.

Медно-порфировое оруденение включено в пиритовый ореол — в пропилитовых и значительной части кварц-серицитовых метасоматитов, за пределами «кварцевых ядер». В руде выделяются четыре ассоциации: кварц-молибденитовая, халькопирит-пиритовая, борнит-халькопирит-блеклорудная и кварц-карбонат-полисульфидная. Комплекс признаков указывает на верхнерудно-надрудный уровень среза Юряхского рудного поля.

Рассмотренные три рудных поля принадлежат к разобщенным медно-порфировым системам, но, обладая общими типичными характеристиками элементов базовой модели, они позволяют составить обобщенную геологическую модель медно-порфировой системы Баимской зоны, в которой Песчанское поле характеризует нижнерудно-рудный, Находкинское — рудно-верхнерудный и Юряхское — верхнерудно-надрудный уровни (рис. 1).

Вертикальный размах медно-порфировых систем с учетом кратерных зон стратовулканов определяется Р. Силитоу в 5—7 км, тем не менее промышленно значимые месторождения располагаются на средних уровнях систем в ассоциации с порфировыми интрузивами, что дает основание оценивать уровни развития порфировых тел как объекты, наиболее благоприятные для прогноза и поисков медно-порфировых месторождений.

Ниже нами рассматриваются элементы модели медно-порфирового месторождения и возможность использования их в качестве поисковых признаков.

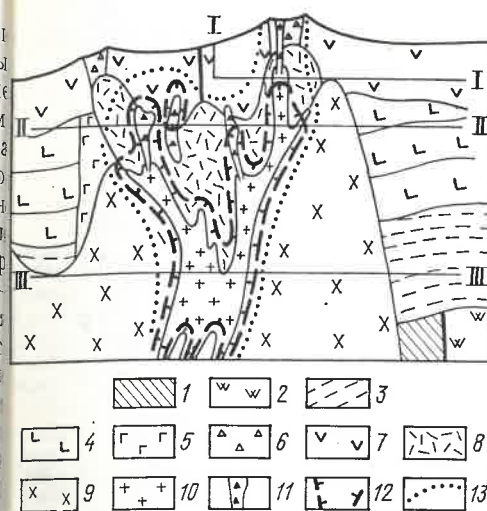


Рис. 1. Обобщенная геологическая модель медно-порфировой системы:

основание Курынского пояса: эвгеосинклинальные формации: 1 — лиарит-базальтовая контрастная, 2 — габбро-гипербазитовая, 3 — флишидная; 4 — интрузивы вторичных базальтоидных геосинклиналей; 5 — андезит-базальтовая терригенная, андезит-дацитовая, базальт-андезитовая, 6 — габбро-диоритовая, 7 — трахиандезит-дацитовая субформация, 8 — кварц-серицитовые метасоматиты, 9 — кварц-молибденитовая, 10 — кварц-карбонат-полисульфидная, 11 — кварц-серицитовая, 12 — кварц-серицитовая, 13 — кварц-серицитовая.

Как следует из обобщенной геологической модели, *рамой порфировых интрузивов*, продуктивных на медно-порфировое оруденение, служат породы поздневолжско-раннемеловой вулканоплутонической ассоциации (см. рис. 1). Магматические породы, составляющие продуктивную ассоциацию, отличаются от ранних и последующих магматогенных образований более высокой щелочностью и меньшим суммарным содержанием оксидов железа, магния и кальция при равных содержаниях кремнекислоты (рис. 2). Для монцититов также характерны постоянное присутствие калиевого полевого шпата и двупироксеновый состав. К важным картировочным признакам относятся кварц-калшпат-биотитовые и биотитовые рогики, образующие ореолы вокруг интрузивов монцититовой формации шириной до первых сотен метров.

Выделяются монцититоиды также и по петрофизическим характеристикам — плотности, магнитной восприимчивости и поляризуемости (таблица).

Средние значения этих характеристик у них ниже, чем у гранитоидов габбро-диоритовой формации, и выше, чем у более молодых образований поздне-меловой вулканоплутонической ассоциации.

Тесная пространственная связь медно-порфирового оруденения центральной части Баимской зоны с *порфировыми интрузивами* дает основание рассматривать их в качестве рудоносной фазы и одного из наиболее важных поисковых признаков. Подавляющее большинство изученных рудных тел и зон минерализации в первом приближении повторяют очертания расположенных в их осевых частях порфировых плутонов, выявление морфологических особенностей которых на ранних стадиях изучения является одной из главных задач, решение которой способствует получению прогнозной оценки связанных с ними рудных тел.

Формы и размеры рудоносных интрузивов зависят от уровня эрозионного среза (рис. 3). Так, на нижнерудном уровне обнажаются довольно крупные штоки площадью поперечного сечения до 1,5 км². С выходом на верхнерудно-рудный уровень порфировые интрузивы расчленяются на ряд мелких штокообразных тел, осложненных по восстанию и простираению многочисленными апофизами, сменяющимися на надрудном уровне маломощными дайками. Сложены порфировые интрузивы кварцевыми монцитит-порфирами третьей, завершающей, фазы монцититовой формации. От пород ранних фаз они отличаются порфировой структурой, присутствием во вкрапленниках калиевого полевого шпата и более высоким суммарным содержанием оксидов натрия и калия при равных количествах кремнекислоты. Для них также характерны наиболее низкие среди монцититоидов значения магнитной восприимчивости, плотности и поляризуемости.

Однако использование рассматриваемых интрузивов в качестве поискового признака ограничивается двумя основными факторами: их относительно небольшими поперечными сечениями — площадь наиболее крупного интрузива из числа известных составляет около 1,5 км²; плохой обнаженностью вследствие избирательной направлен-

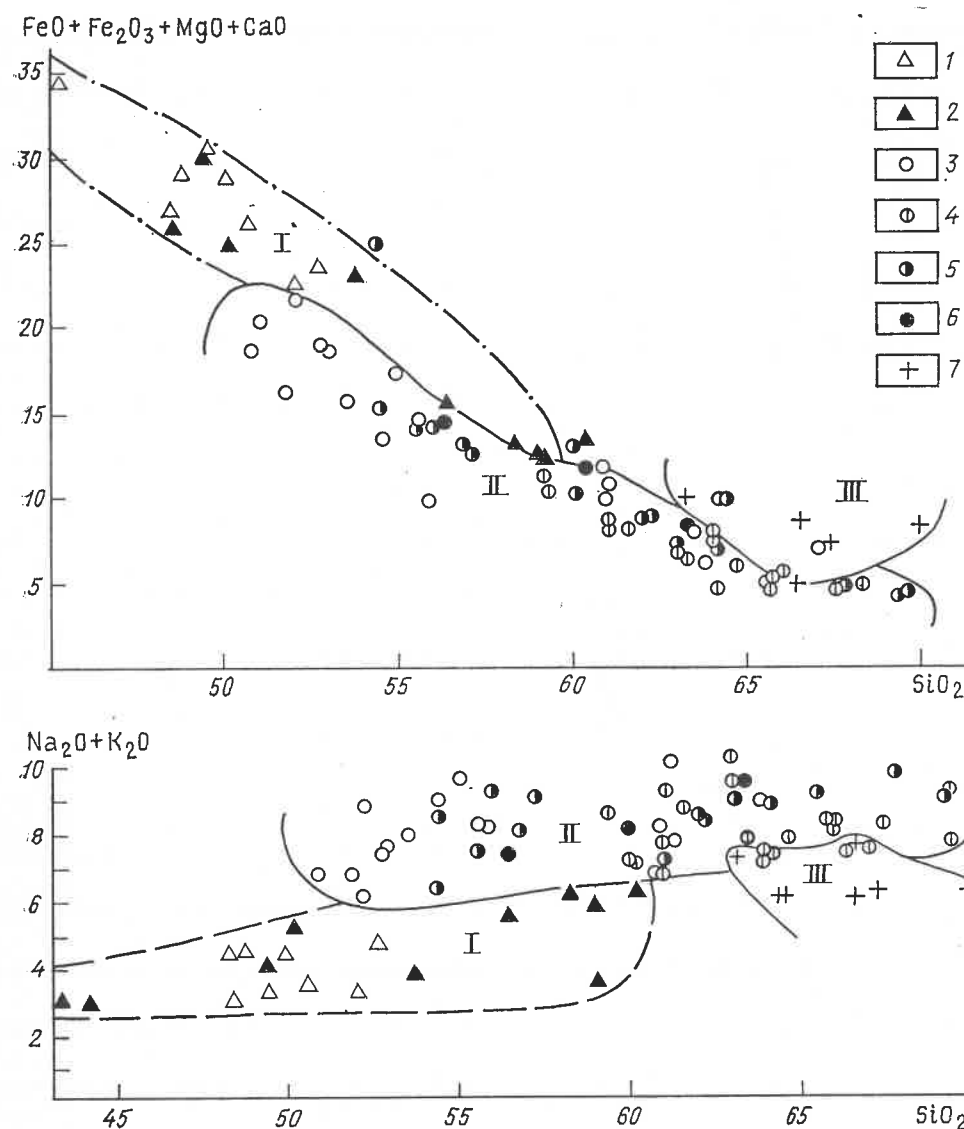


Рис. 2. Поля химических составов позднеюрско-ранне меловых магматических пород в координатах $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{CaO} - \text{SiO}_2$ и $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$; I, II, III — поля химических составов магматических пород вулканоплутонических ассоциаций; средне-

волжская ВПА: 1 — эффузивные, 2 — интрузивные позднеюрско-ранне меловая ВПА: 3 — эффузивные, 4 — субвулканические, 5 и 6 — интрузивные фанеритовых и порфировых фазы соответственно; 7 — субвулканические поздне меловой ВПА

ности морозного выветривания по обладающим повышенной пористостью гидротермально-метасоматически измененным породам. Поэтому порфировые тела, как правило, приурочены к слабopоложительным и нередко отрицательным формам рельефа и практически полностью перекрыты рыхлыми отложениями — делювиальными, делювиально-солифлюкционными, аллювиальными.

Поисковое значение *брекчиевых тел* обуславливается не только их приуро-

ченностью к верхнерудному и надрудному уровням. Брекчиевые трубки в среднем и несколько ниже среднего уровнях (см. рис. 3) часто содержат как медно-молибденовое, так и золотосеребросодержащее полисульфидное оруденение, выделяемое по соотношению главных рудообразующих металлов в самостоятельный геолого-промышленный тип.

Картирование брекчиевых тел сопряжено с теми же трудностями, что и при поисках порфировых интрузивов

Петрофизические характеристики пород центральной части Баимской зоны

Порода	Средняя магнитная восприимчивость, 10^{-5} ед. СИ	Средняя плотность, г/см ³	Поляризуемость, %	Формация
Пироксенит	5873	3,06	2,04	Габбро-диоритовая
Габбро	5635	2,94	0,86	То же
Габбро-диориты	4127	2,75	—	„
Калишпатизированное габбро	2857	2,74	0,25	„
Диорит	2698	2,65	1,37	„
Диоритовый порфирит	2540	2,63	0,29	„
Монцодиорит	2300	2,7	0,44	Продуктивная монцонитовая
Монцонит	2143	2,67	1,11	То же
Монцонит-порфир	2222	2,65	0,2	„
Кварцевый монцонит	1350	2,59	1,05	„
Кварцевый монцонит-порфир	952	2,55	0,37	„
Андезит	2222	2,82	0,76	Базальт-андезитовая
Туф среднего состава	79	2,6	0,26	То же
Диоритовый порфирит	1667	2,65	0,53	Трахиандезит-дацитовая
То же, метасоматически окварцованный, серицитизированный:				
а) фашия слабых изменений	1,3	2,6	0,53	То же
б) фашия сильных изменений	0	2,51	0,6	„

Кроме того, они нередко ошибочно принимались за туфы или крупнообломочные зоны дробления. Тем не менее от первых они отличаются относительно однородным петрографическим составом обломков, от вторых — извилистыми очертаниями и нередко резкими выклиниваниями. В любом случае достоверная диагностика брекчиевых тел и изучение их морфологии возможны после проведения горно-буровых работ. Определенную помощь может оказать магнитометрия. Поскольку эти тела, как правило, интенсивно окварцованы, карбонатизированы, серицитизированы, их магнитная восприимчивость редко превышает первые единицы $\cdot 10^{-5}$ СИ и они выделяются отрицательными аномалиями даже на фоне слабомагнитных пород. В зоне окисления поверхности брекчий покрываются бурыми, буровато-черными и сажисто-черными пленками и налетами гидроксидов железа и марганца, тем самым проявляя текстурные особенности пород и облегчая их картирование.

Продукты гидротермально-метасоматических изменений на изученных рудных полях представлены в основном следующими разновидностями метасоматитов: калишпат-биотитовыми, кварц-серицитовыми, «кварцевыми яд-

рами» и пропилитами хлорит-эпидотовой фации.

Калишпат-биотитовые метасоматиты относятся к наиболее ранним образованиям. Изменениям этого типа подвержены преимущественно внутренние части рудоносных порфировых тел, редко их непосредственные экзоконтакты. В результате наложения последующего кварц-серицитового метасоматоза в чистом виде они сохранились только на нижнерудном и подрудном уровнях. На рудно-верхнерудном уровне эти метасоматиты развиты весьма ограниченно и отмечались только внутри относительно крупных порфировых тел. На верхнерудно-надрудном эрозионном срезе они не обнаружены.

Кварц-серицитовые метасоматиты наблюдались на всех уровнях модели — от нижнерудного до верхнерудно-надрудного. Наиболее интенсивно этот метасоматоз проявился на верхнем выклинивании порфировых тел, где ему подвержены все разновидности интрузивных и субвулканических пород. Площадь распространения продуктов кварц-серицитового метасоматоза в десятки раз превышает суммарную площадь сечения порфировых и брекчиевых тел. На нижнерудном уровне кварц-серицитовые метасоматиты охва-

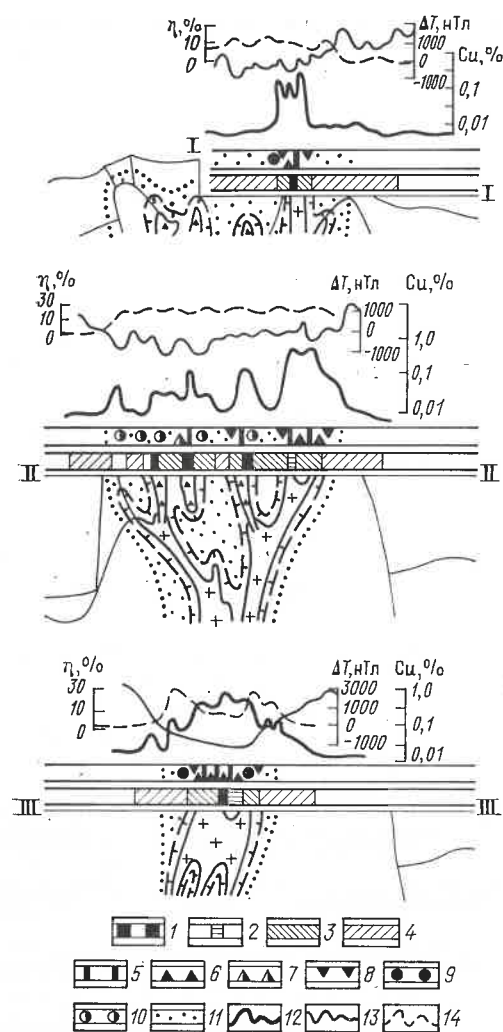


Рис. 3. Комплексная геолого-поисковая модель медно-порфирового месторождения для его верхнерудно-надрудного (I—I), рудно-верхнерудного (II—II) и нижнерудно-рудного (III—III) уровней:

продукты гидротермально-метасоматических изменений: 1 — «кварцевые ядра», 2 — калишпат-биотитовые, 3 — кварц-серицитовые, 4 — пропилитовые; медно-порфировая рудная минерализация: 5 — молибденит, 6 — борнит, 7 — блеклая руда, 8 — халькопирит, 9 — галенит и сфалерит, преимущественно вкрапленные, 10 — то же, преимущественно прожилковые; 11 — пиритовый ореол; 12 — содержание меди в первичных ореолах; 13 — магнитные аномалии; 14 — аномалии вызванной поляризуемости; остальные условно обозначены, см. рис. 1

тывают порфировые штоки и вмещающие их породы. Площадь их развития незначительно превышает площади сечений порфировых штоков. На верхнерудно-надрудном уровне кварц-серицитовые метасоматиты отмечены по дайкам кварцевых монзонит-порфиров, брекчиевым телам и некоторым зонам дробления, что указывает на нескрытые эрозией порфировые интрузивы или брекчиевые тела.

«Кварцевые ядра» представляют спорфирового интрузива к периферии бой участки тонкопрожилкового окварудного поля): «кварцевое ядро» — кварцевания штокверкового типа, обильный биотитовая — кварц-серицитожильного кварца в которых в среднем — пропилитовая. В эндоконтакте составляет 20—30 %. Межпрожилков порфирового интрузива рудно-верхнепространство занимают кварц-серицитового уровня находится биотитовая товые метасоматиты интенсивной периферии. Она сменяется кварц-серицитоты работки. На нижнерудном уровне метасоматитами и далее пропилитовых «ядра» расположены внутри порфиритов. В центре зональности верхне-тел, на рудно-верхнерудном и надрудно-надрудного уровня располагаются «кварцевые ядра», окруженные иногда на значительном удалении, кварц-серицитовыми метасоматитами, в зоне их влияния, т. е. там, где они в свою очередь пропилитовыми. Но предположить существование этих Как показали исследования, плотел на глубине. На связь «ядер» с площадью развития продуктов гидротермальных интрузивов указывают метасоматических изменений взаимоотношения с брекчиевыми телами в любом срезе медно-порфировой сими. Подавляющее большинство брекчиевых тел во много раз превышают суммучиевых образований сопровождается площадями сечения расположенных в ихкварцевыми штокверками и штокверковых частях порфировых интрузивовковыми зонами преимущественно в брекчиевых телах, что делает метасоматиты вполне доступными для карности окварцевания. По отношению к границам брекчиевых тел они зафиксированы даже в условиях неудовлетворительной обнаженности большей частью Баимской зоны и позволяет отнести их к наиболее важным поисковым признакам.

Сформировались «кварцевые ядра» Однако поисковое значение метасоматической зональности на различных стадиях развития процесса кислотного выщелачивания, эрозионных срезах системы не одинаково. Так, на рудно-нижнерудном срезове площади рудных тел в первом приближении совпадают с зоной кварц-серицитовых метасоматитов, поэтому последние выделяются там в ранг прямых поисковых признаков. Но на рудно-верхнерудном уровне картирование аналогичной зоны позволит лишь уточнить границы рудного поля, в пределах которого для выделения рудных тел требуется проведение комплекса дополнительных поисковых работ. На верхнерудно-надрудной эрозионной поверхности минерализованные зоны кварц-серицитовых изменений, занимающие небольшие площади внутри зоны пропилитов, чаще всего могут рассматриваться как признаки залегающего на глубине промышленного оруденения. Поэтому изучение гидротермально-метасоматической зональности обязательно должно сопровождаться исследованиями, направленными на изучение уровня денудационного среза перспективного объекта.

На ранних стадиях поисков в выделении зон гидротермалитов существенную помощь могут оказать магнитометрия и гаммаспектрометрия. Кварц-серицитовые метасоматиты в зависимости от первичного состава пород и интенсивности изменений характеризуются значениями магнитной восприимчивости $0-240 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Аналогичны ее значения и для калишпат-биотитовых метасоматитов. Магнитная восприимчивость «кварцевых ядер» всегда равна нулю; для пропилитов она редко опускается ниже $160-476 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и увеличивается по направлению к неизменным породам. Поэтому на магнитных планах внутренние части гидротермально-метасоматической зональности выделяются отрицательными аномалиями, совпадающими с положительными аномалиями калия.

Внешний пиритовый ореол выделен на всех ранее рассмотренных уровнях модели, он занимает значительные площади и также является важным поисковым признаком. На нижнерудно-рудном уровне рудные тела заключены в пиритовую оболочку шириной 200—700 м, границы которых совпадают с внутренней частью зоны пропилитов. С выходом на рудно-верхнерудный уровень пиритовая оболочка, сливаясь, образует сплошной пиритовый ореол, наложенный как на кварц-серицитовые метасоматиты, так и на пропилиты, на фоне которого развивалось продуктивное оруденение. Интенсивность пиритизации на верхнерудно-надрудном срезе несколько снижается, хотя по площади распространения она сопоставима с предыдущим уровнем. Пиритизация охватывает зоны пропилитов и кварц-серицитовых метасоматитов, в пределах которых медно-порфировое оруденение контролируется дайками кварцевых монзонит-порфиритов и брекчиевыми телами.

Пиритовый ореол достаточно уверенно картируется в различных ландшафтных обстановках, как по наличию прожилково-вкрапленного пирита на участках со слабо развитой зоной окисления, так и по коре выветривания, характеризующейся кавернозными текстурами пород и их лимонитизацией различной интенсивности. Слабо задернованные коры выделяются при аэровизуальных наблюдениях бурым цветом элювиально-делювиальных отложений. В электрическом поле площадная пиритизация фиксируется аномалиями

Пиритовый ореол достаточно уверенно картируется в различных ландшафтных обстановках, как по наличию прожилково-вкрапленного пирита на участках со слабо развитой зоной окисления, так и по коре выветривания, характеризующейся кавернозными текстурами пород и их лимонитизацией различной интенсивности. Слабо задернованные коры выделяются при аэровизуальных наблюдениях бурым цветом элювиально-делювиальных отложений. В электрическом поле площадная пиритизация фиксируется аномалиями

Пиритовый ореол достаточно уверенно картируется в различных ландшафтных обстановках, как по наличию прожилково-вкрапленного пирита на участках со слабо развитой зоной окисления, так и по коре выветривания, характеризующейся кавернозными текстурами пород и их лимонитизацией различной интенсивности. Слабо задернованные коры выделяются при аэровизуальных наблюдениях бурым цветом элювиально-делювиальных отложений. В электрическом поле площадная пиритизация фиксируется аномалиями

Пиритовый ореол достаточно уверенно картируется в различных ландшафтных обстановках, как по наличию прожилково-вкрапленного пирита на участках со слабо развитой зоной окисления, так и по коре выветривания, характеризующейся кавернозными текстурами пород и их лимонитизацией различной интенсивности. Слабо задернованные коры выделяются при аэровизуальных наблюдениях бурым цветом элювиально-делювиальных отложений. В электрическом поле площадная пиритизация фиксируется аномалиями

малиями кажущейся поляризуемости со значениями от 2 до 30 %.

Рудные тела вследствие многостадийного характера отложения и прожилково-вкрапленной текстуры руд естественных ограничений не имеют. Их границы определяются по заданным бортовым содержаниям меди или условного компонента, если попутные компоненты содержатся в количествах, экономически выгодных для их извлечения. Как показали исследования, независимо от способа и принципа геометризации, рудные тела в первом приближении конформны интрузивам кварцевых монзонит-порфиров и связанным с ними брекчиевым телам. Рудные тела нижнерудно-рудного уровня относятся ко второму, а рудно-верхнерудного — к третьему морфологическому типам медно-порфировых месторождений [4].

Рудная минерализация медно-порфирового этапа представлена следующими последовательно отложившимися минеральными ассоциациями: кварц-молибденитовой, халькопирит-пиритовой, халькопирит-блеклорудно-борнитовой и кварц-карбонат-полисульфидной. Последовательность минералообразования и минеральный состав ассоциаций сохраняются на всех уровнях обобщенной модели медно-порфировой системы Баимской зоны. Вместе с тем для каждого уровня характерно свое сочетание минералов и их объемные соотношения, отражающие *рудно-минералогическую зональность*.

В системе порфировый интрузив — брекчиевое тело кварц-молибденитовая ассоциация тяготеет к ее внутренним частям, образуя два максимума — на нижнерудно-рудном уровне и на верхнем выклинивании порфирового тела. Халькопирит-пиритовая ассоциация широко развита на всех уровнях, но максимальных концентраций достигает на рудно-верхнерудном срезе, где она является главной рудообразующей. Ею сложены убогие руды с содержаниями меди, редко превышающими бортовые. Промышленно значимые руды образованы в основном халькопирит-блеклорудно-борнитовой ассоциацией или сочетанием ее с минералами других ассоциаций. Максимальных концентраций она достигает на нижнерудно-рудном уровне, на рудно-верхнерудном

распространена ограниченно, а на верхнерудно-надрудном уровне представляет минералогический интерес. Золото-серебросодержащая кварц-карбонат-полисульфидная ассоциация наиболее широко развита на рудно-верхнерудном срезе в связи с брекчиевыми телами; она образует самостоятельный геолого-промышленный тип оруденения. На нижнерудно-рудном уровне эта ассоциация представлена маломощными жилами, прожилками и мелкой вкрапленностью, тяготеющей к периферии рудных тел, а также располагающейся за их пределами. Также ограничена она развита на верхнерудно-надрудном уровне системы.

Эндогенная геохимическая зональность обобщенной медно-порфировой системы выражается в постепенном снижении содержаний меди и молибдена от рудного среза к нижнерудно-подрудному и верхнерудно-надрудному уровням с одновременным возрастанием содержаний золота, серебра, свинца и цинка. И если по направлению вниз содержания последних четырех элементов возрастают незначительно, то на рудно-верхнерудном уровне они образуют концентрации, близкие к промышленным.

Гипергенная зональность представлена зонами выщелачивания и окисления, зона цементации на всех известных объектах Баимской зоны отступает. Зона выщелачивания распространяется на глубину 3—5 м, по тектоническим нарушениям до 30—40 м. Отвечающей зоны пиритового окисления она отличается ядовито-желтым цветом охры и сажисто-черными налетами гидроокислов марганца на поверхности обломков. Следующая за зоной выщелачивания зона окисления выделяется примазками малахита, в междурядьях, а в их пределах контуры рудной степени азурита и других минералов меди и марганца. Уточненные границы рудных тел можно получить путем литохимического опробования по сети 500×100 м, мелкие и средние рудные тела окисления располагаются непосредственно под маломощным делювиальным чехлом. Нижняя ее граница сохраняется и во вторичном окислении, не превышающем 100 м. Переходим к первичным порфировым телам. Их границы определяются по сети 100×20 м. Основными чертами первичной зональности являются: в среднем первых десятков метров окисленных руд к первичным порфировым телам. Переходим к вторичным порфировым телам. Их границы определяются по сети 500×100 м. Это позво-

Приуроченность рудных тел к эндоконтактам порфировых интрузивов и брекчиевых тел, занимающих центральное положение в гидротермально-метасоматической зональности, предопределила их плохую обнаженность. Достаточно сказать, что ни одно из известных в Олойской зоне рудных тел естественных коренных обнажений не образует. Все они полностью перекрыты рыхлыми отложениями различного генетического типа — элювиальными, делювиальными, делювиально-олифлюкционными и аллювиальными. Поэтому даже предварительное изучение морфологических особенностей рудных тел возможно только в результате полного их пересечения магистральными канавами, а при больших мощностях рыхлых отложений — пробуриванием мелких скважин с углубкой в коренные слабоокисленные руды на 3—5 м, а оценка их промышленной значимости должна основываться только на результатах опробования колонковых скважин, пройденных ниже зоны окисления.

При поисках медно-порфирового оруденения Баимской зоны апробированы и успешно применены комплексы геохимических и геофизических методов. Результаты опробования по потокам рассеяния шагом 500 м и почв по сети 500×100 м, 200×40 м и 100×20 м позволили прийти к следующим выводам [3]:

1. Элементы-индикаторы медно-порфирового оруденения в потоках рассеяния и вторичных ореолах являются медь, молибден, золото, серебро, свинец;

2. Опробование потоков рассеяния шагом 500 м позволяет выделить в первом приближении границы рудных полей на любом срезе медно-порфировой системы. Уточненные границы рудных тел можно получить путем литохимического опробования по сети 500×100 м, мелкие и средние рудные тела окисления располагаются непосредственно под маломощным делювиальным чехлом. Нижняя ее граница сохраняется и во вторичном окислении, не превышающем 100 м. Переходим к первичным порфировым телам. Их границы определяются по сети 100×20 м. Основными чертами первичной зональности являются: в среднем первых десятков метров окисленных руд к первичным порфировым телам. Переходим к вторичным порфировым телам. Их границы определяются по сети 500×100 м. Это позво-

ов и брекчиевых тел, занимающих центральное положение в гидротермально-метасоматической зональности, предопределила их плохую обнаженность. Достаточно сказать, что ни одно из известных в Олойской зоне рудных тел естественных коренных обнажений не образует. Все они полностью перекрыты рыхлыми отложениями различного генетического типа — элювиальными, делювиальными, делювиально-олифлюкционными и аллювиальными. Поэтому даже предварительное изучение морфологических особенностей рудных тел возможно только в результате полного их пересечения магистральными канавами, а при больших мощностях рыхлых отложений — пробуриванием мелких скважин с углубкой в коренные слабоокисленные руды на 3—5 м, а оценка их промышленной значимости должна основываться только на результатах опробования колонковых скважин, пройденных ниже зоны окисления.

При поисках медно-порфирового оруденения Баимской зоны апробированы и успешно применены комплексы геохимических и геофизических методов. Результаты опробования по потокам рассеяния шагом 500 м и почв по сети 500×100 м, 200×40 м и 100×20 м позволили прийти к следующим выводам [3]:

1. Элементы-индикаторы медно-порфирового оруденения в потоках рассеяния и вторичных ореолах являются медь, молибден, золото, серебро, свинец;

2. Опробование потоков рассеяния шагом 500 м позволяет выделить в первом приближении границы рудных полей на любом срезе медно-порфировой системы. Уточненные границы рудных тел можно получить путем литохимического опробования по сети 500×100 м, мелкие и средние рудные тела окисления располагаются непосредственно под маломощным делювиальным чехлом. Нижняя ее граница сохраняется и во вторичном окислении, не превышающем 100 м. Переходим к первичным порфировым телам. Их границы определяются по сети 100×20 м. Основными чертами первичной зональности являются: в среднем первых десятков метров окисленных руд к первичным порфировым телам. Переходим к вторичным порфировым телам. Их границы определяются по сети 500×100 м. Это позво-

Приуроченность рудных тел к эндоконтактам порфировых интрузивов и брекчиевых тел, занимающих центральное положение в гидротермально-метасоматической зональности, предопределила их плохую обнаженность. Достаточно сказать, что ни одно из известных в Олойской зоне рудных тел естественных коренных обнажений не образует. Все они полностью перекрыты рыхлыми отложениями различного генетического типа — элювиальными, делювиальными, делювиально-олифлюкционными и аллювиальными. Поэтому даже предварительное изучение морфологических особенностей рудных тел возможно только в результате полного их пересечения магистральными канавами, а при больших мощностях рыхлых отложений — пробуриванием мелких скважин с углубкой в коренные слабоокисленные руды на 3—5 м, а оценка их промышленной значимости должна основываться только на результатах опробования колонковых скважин, пройденных ниже зоны окисления.

При поисках медно-порфирового оруденения Баимской зоны апробированы и успешно применены комплексы геохимических и геофизических методов. Результаты опробования по потокам рассеяния шагом 500 м и почв по сети 500×100 м, 200×40 м и 100×20 м позволили прийти к следующим выводам [3]:

1. Элементы-индикаторы медно-порфирового оруденения в потоках рассеяния и вторичных ореолах являются медь, молибден, золото, серебро, свинец;

2. Опробование потоков рассеяния шагом 500 м позволяет выделить в первом приближении границы рудных полей на любом срезе медно-порфировой системы. Уточненные границы рудных тел можно получить путем литохимического опробования по сети 500×100 м, мелкие и средние рудные тела окисления располагаются непосредственно под маломощным делювиальным чехлом. Нижняя ее граница сохраняется и во вторичном окислении, не превышающем 100 м. Переходим к первичным порфировым телам. Их границы определяются по сети 100×20 м. Основными чертами первичной зональности являются: в среднем первых десятков метров окисленных руд к первичным порфировым телам. Переходим к вторичным порфировым телам. Их границы определяются по сети 500×100 м. Это позво-

ляет не только обнаружить небольшие рудные тела, но также расшифровать геохимическую зональность рудного поля, и в конечном счете определить в первом приближении уровень эрозионного среза медно-порфировой системы;

3. Достоверность прогнозной оценки по результатам литохимического опробования существенно повышается при использовании эмпирических коэффициентов остаточной продуктивности для меди, молибдена, золота, серебра, свинца и цинка, а также поправочного множителя для меди.

Удовлетворительно зарекомендовал себя геофизический комплекс, объединивший магнитометрию и метод вызванной поляризации. Магнитометрия помогла оконтурить зоны кварц-серицитовых метасоматитов с заключенными в них реликтами зоны калишпат-биотитовых метасоматитов и «кварцевыми ядрами», характеризующиеся аномалиями полного вектора магнитного поля $\Delta T = 500 \div 1500$ нТл. Пропилизированные и неизмененные породы выделяются аномалиями $\Delta T = 500 \div 7000$ нТл. Методом ВП рудные тела ограничиваются аномалиями кажущейся поляризуемости $\eta_k = 3 \div 10$ % при фоновых значениях $\eta_k = 1,0 \div 1,5$ %, а окружающий их пиритовый ореол в зависимости от текстурных особенностей пирита аномалиями $\eta_k = 2 \div 30$ %, что существенно затрудняет однозначное выделение рудных тел. Как видим, ни одним из использованных геофизических методов однозначно рудные тела не выделяются. Эффективность комплекса на различных уровнях эрозионного среза медно-порфировой системы также неодинакова. Хорошие результаты получены от его применения на нижнерудно-рудном срезе, объясняющиеся тем, что рудные тела удачно совпадают с зонами кварц-серицитовых метасоматитов, выделяющихся на магнитных планах отрицательными аномалиями, при этом они отличались достаточно уверенно от пиритового ореола аномалиями η_k .

Применение того же комплекса на рудных полях, отвечающих рудно-верхнерудному и верхнерудно-надрудному уровням оказалось малоэффективным, так как магнитометрия по-прежнему выделяла отрицательными аномалиями

ми зоны кварц-серицитовых метасоматитов, в десятки раз по площади превышающие рудные тела, а метод ВП указывал аномалиями близкой интенсивности как на медно-порфировое оруденение, так и на участки развития пиритового ореола. Поэтому для разбраковки комплексных геофизических аномалий потребовалось дополнительное привлечение других поисковых методов, в том числе и геохимических.

К важным поисковым признакам медно-порфирового оруденения относятся россыпи золота, разрабатывавшиеся задолго до выявления медно-порфировых объектов. Сформировались россыпи в результате разрушения кор выветривания, развитых на большинстве известных медно-порфировых объектов.

В заключение можно сделать следующие выводы:

рассмотренные рудные поля вследствие общности таких элементов базовой модели медно-порфировой системы, как породы основания вулканоплутонического пояса, формации нижних частей его разреза, фанеритовые интрузивы главных фаз, порфировые штоки и брекчиевые тела, принадлежат к однотипным медно-порфировым системам, характеризуя их нижнерудно-рудный, рудно-верхнерудный и верхнерудно-надрудный уровни, что и послужило основанием для составления на их базе обобщенной геологической модели медно-порфировой системы Баймской зоны;

главные элементы медно-порфирового месторождения — рама порфирового интрузива, порфировый интрузив, брекчиевое тело, пиритовый ореол, зоны гидротермально-метасоматически измененных пород, рудно-минералогическая зональность и промышленно рудные тела — характеризуются специфическими особенностями и отражаются

в геохимическом, магнитном, аэрогаммаспектрометрическом и электрическом полях, что позволяет использовать все указанные элементы в качестве поисковых признаков;

геолого-поисковую модель Баймского рудного пояса можно рассматривать как базовую для всей металлогенической провинции, охватывающей регион Курьинского вулканоплутонического пояса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волчков А. Г., Сокиркин Г. И., Шишак В. Б. Геологическое строение и состав руд Анойского медно-порфирового месторождения. Северо-Восток СССР//Геология рудных месторождений. 1982. № 3. С. 89—94.
2. Каминский В. Г. Формационное районирование и медно-порфировое оруденение центральной части Баймской зоны//Сов. геология. 1987. № 3. С. 49—54.
3. Каминский В. Г., Колеватых С. А., Сокиркин Г. И. Литохимические методы поиска медно-порфирового оруденения Западной Чукотки. Северо-Восток СССР//Разведка и охрана недр. 1988. № 3. С. 24—28.
4. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Шишак В. Б. Морфологическая классификация медно-порфировых месторождений: Обзор. Сер. Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. — М.: ВИЭМ, 1980.
5. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. — М.: Недра, 1983.
6. Павлова И. Г. Медно-порфировые месторождения. — Л.: Наука, 1978.
7. Попов В. С. Геология и генезис медно-молибден-порфировых месторождений. — М.: Наука, 1977.
8. Продуктивные для медно-порфирового оруденения вулканоплутонические пояса Западной Чукотки/И. Ф. Мигачев, Р. Н. Мигаева, В. Г. Сапожников, В. Б. Шишак. Докл. АН СССР. 1984. Т. 277. № 2.
9. Рудно-метасоматическая зональность медно-порфирового месторождения на Северо-Востоке СССР/И. Ф. Мигачев, В. Б. Шишак, В. Г. Сапожников, В. Г. Каминский//Геология рудных месторождений. 1984. № 5. С. 91—94.

Принята редколлегией 21 ноября 1988



РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА

УДК 551.24.03 (470.21/.25)

Д. И. ГАРБАР, О. В. ТРОФИМОВ, В. В. ПОПОВ,
Л. Г. КАБАКОВ (ПГО «Севзапгеология»)

Геодинамические обстановки основных этапов развития территории Северо-Запада СССР

Современное состояние тектоники литосферных плит и довольно высокая степень изученности территории Северо-Запада СССР позволяют перейти от построенных планетарного уровня к региональным мелкомасштабным палеогеодинамическим реконструкциям — необходимому подготовительному этапу прогнозно-металлогенических исследований.

Поскольку наблюдаемое ныне геологическое строение любой территории представляет собой мультипликацию разновозрастных тектонических структур, в том числе и современных, то для анализа истории развития региона оказалось удобным разделить ее на ряд этапов в соответствии с общепринятой геохронологической шкалой. Предлагаемые эвристические геодинамические модели (рис. 1, 2, 3) охватывают семь этапов развития территории: ранне- и позднеархейские, сумийско-сариолийский, ятулийский, калевийско-вепсийский, рифейский и фанерозойский. Они основываются, во-первых, на общих геодинамических моделях тектоники плит [7], во-вторых, на концепциях, допускающих «включение» механизма тектоники плит в раннем докембрии [3] и, в-третьих, на частных палеогеодинамических реконструкциях мобилистского характера, предложенных отечественными и зарубежными авторами в качестве вероятностных для некоторых субрегионов Балтийского щита или для отдельных крупных структур регионов [12, 14, 15]. Геологической основой палеогеодинамических схем (см. рис. 1, 2) послужили мелкомасштабные карты последнего десятилетия [5, 6, 9].

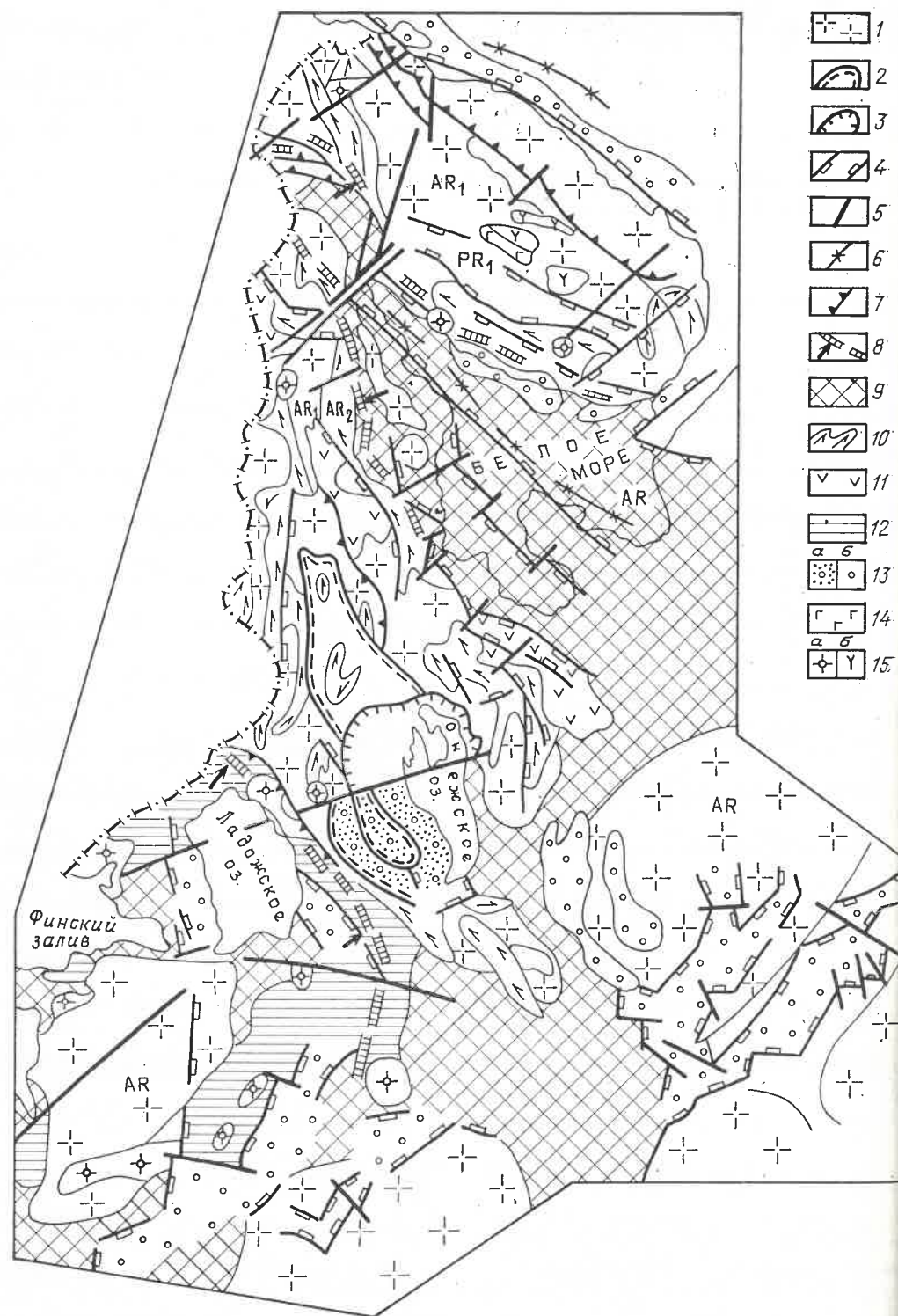
Довендские комплексы фундамента Русской плиты изучены намного хуже, чем их аналоги в пределах Балтийского щита, что отразилось в степени достоверности реконструируемых моделей. Частные геодинамические модели

докембрия для территории к югу от Балтийского щита практически отсутствуют, картографические материалы схематичны. Для этой части региона авторы ограничились в основном экстраполяцией структур и палеогеодинамических обстановок, установленных на юге щита.

Для воссоздания господствовавших в прошлом геодинамических обстановок использовано понятие о геологических комплексах (или формациях) как об их признаках-индикаторах [7]. Использованы также тектонические структуры, зоны метаморфизма и характеристики глубинного строения региона, причем в той мере, в которой установлено их положение на геохронологической шкале.

Обстановка раннеархейского этапа развития включала элементы еще более древнего, не рассматриваемого здесь катархейского. Это, в частности, эндербит-тоналит-диоритовый комплекс — вещественная основа протоконтинентальной коры значительной мощности. Его аналоги обнаружены и в структуре других докембрийских щитов [3].

По существующим представлениям [3 и др.], к раннеархейскому этапу изначально базитовая кора была замещена породами тоналит-эндербитового состава, сформировавшимися в результате выплавки из первичной магмы. Индикаторами обстановки образования протоконтинентальной коры являются региональные овоидальные структуры (диаметром 900—1200 км), дешифрируемые на космических снимках и представляющие собой «тени» тоналит-эндербитовых куполов. Эти структуры или их фрагменты обнаружены в пределах Кольского и Карельского литоплитов [3] и отсутствуют в разделяющей их Беломорской области. Важнейшим событием раннеархейского этапа было заложение и разви-



ие Беломорского палеокеана. Предположения о том, что Беломорская область (или Беломорский мегаблок) представляет собой древнейшую рифтогенную зону — зону диасклизиса [3], возникшую в результате раздвига земной протоконтинентальной коры [2, 11], подтвердились результатами геофизических работ [9], из которых следует, что при ее пониженной мощности здесь отсутствует гранитно-метаморфический слой. Как можно заключить из углубленного изучения структурно-вещественных комплексов беломорид, они имеют здесь черты, характерные для меланократового слоя коры океанического типа [3, 14].

Поскольку радиологические данные свидетельствуют об архейском возрасте названных комплексов, можно предположить, что «включение» механизма тектоники плит, по крайней мере спрединга морского дна, началось еще в архее. Индикаторами дифференцированных вертикальных движений во внутренних частях протоконтинентов раннего архея являются структурно-вещественные комплексы древнейших зеленокаменных поясов (ЗП), в том числе метаосадочные породы и метавулканиды континентального типа. Строго говоря, указанные структуры существенно отличаются от собственно зеленокаменных поясов лопия, и применение этого термина в данном случае довольно условно.

В первой половине позднеархейского этапа продолжалась деструкция протоконтинентов, происходили заложение и развитие многочисленных ЗП, ориентированных параллельно очертаниям Беломорского палеокеана. При-

мечательно, что смена типов разрезов ЗП определяется их удаленностью от того же океанического бассейна. Зеленокаменные пояса развивались в основном как рифтогенные структуры, но присутствие в разрезах метавулканидов среднего и кислого составов позволяет предположить соответствие формирования некоторых из них островодужной модели (В. М. Моралев, 1986).

Вторая половина позднеархейского этапа характеризуется общим сжатием, что обусловило массовое образование надвигов и взбросов, зональный метаморфизм, сокращение площади ЗП и формирование многочисленных гранито-гнейсовых куполов диаметром в 50 км и более.

Обстановка общего сжатия и скучивания пластин земной коры привела к развитию региональных надвигов большой амплитуды и глубины заложения. Некоторые из них определены как зоны обдукции. Например, узкая линейная зона Колмозеро — Воронья на границе Мурманского и Центральнокольского блоков сложена гипербазитами и метавулканидами основного состава с подчиненным количеством метаосадков и интерпретирована как офиолитовый шов с признаками крупномасштабных тангенциальных перемещений масс в юго-западном направлении [12]. Метаосадочные толщи лопия умеренной (первые сотни метров) мощности являются индикаторами блоков малой подвижности (стабильных массивов) в пределах позднеархейских протоконтинентов.

Таким образом, на рубеже архея и протерозоя произошла кратонизация Кольского и Карельского мегаблоков,

Рис. 1. Геодинамические обстановки довендских — архейских — рифейских этапов развития территории: 1 — литоплиты (микроплиты с континентальной протокорой), сформировавшиеся в катархее — раннем архее, подвергшиеся площадной гранитизации в позднем архее, частично замещенные (в пределах Русской плиты) или перекрытые фанерозойскими образованиями; 2 — амфилизы, образованные эффузивными траппами вепсия; 3 — Онежская раннепротерозойская вулканотектоническая депрессия; 4 — рифты, грабены, зоны рассеянного рифтинга (протерозойские); 5 — поперечные разломы рифтогенных структур и континентальные трансформаторные разломы; 6 — осевые части (зоны раздвига) рифтогенных структур разного возраста, в том числе срединно-океанического рифта Беломорского палеокеана (AR — PR₁); 7 — надвиги зон субдукции и зон коллизии (различного возраста); 8 — зоны субдукции (или их сутурные швы); 9 — зоны диасклизиса (переработанная палеокеаническая кора архея, выделенная по вещественным признакам, высокому положению поверхности М и по косвенным структурным признакам); 10 — зеленокаменные позднеархейские пояса (обращенные зоны дивергенции); 11 — терригенно-вулканогенные образования — индикаторы раннепротерозойских рифтогенных структур; 12 — терригенные (флиш) и вулканогенные образования каледония — индикаторы обстановки континентального склона, желоба и островной дуги; 13 — терригенные образования позднего докембрия; 14 — интрузии гранитоидов; 15 — интрузии гранитов — индикаторы отмирающей каледонийской зоны субдукции и граниты «поперечных рядов» — индикаторы континентальных отрезков трансформных разломов того же возраста; 16 — умеренно щелочные граниты — индикаторы каледонийско-вепсийской зоны коллизии микроплит.

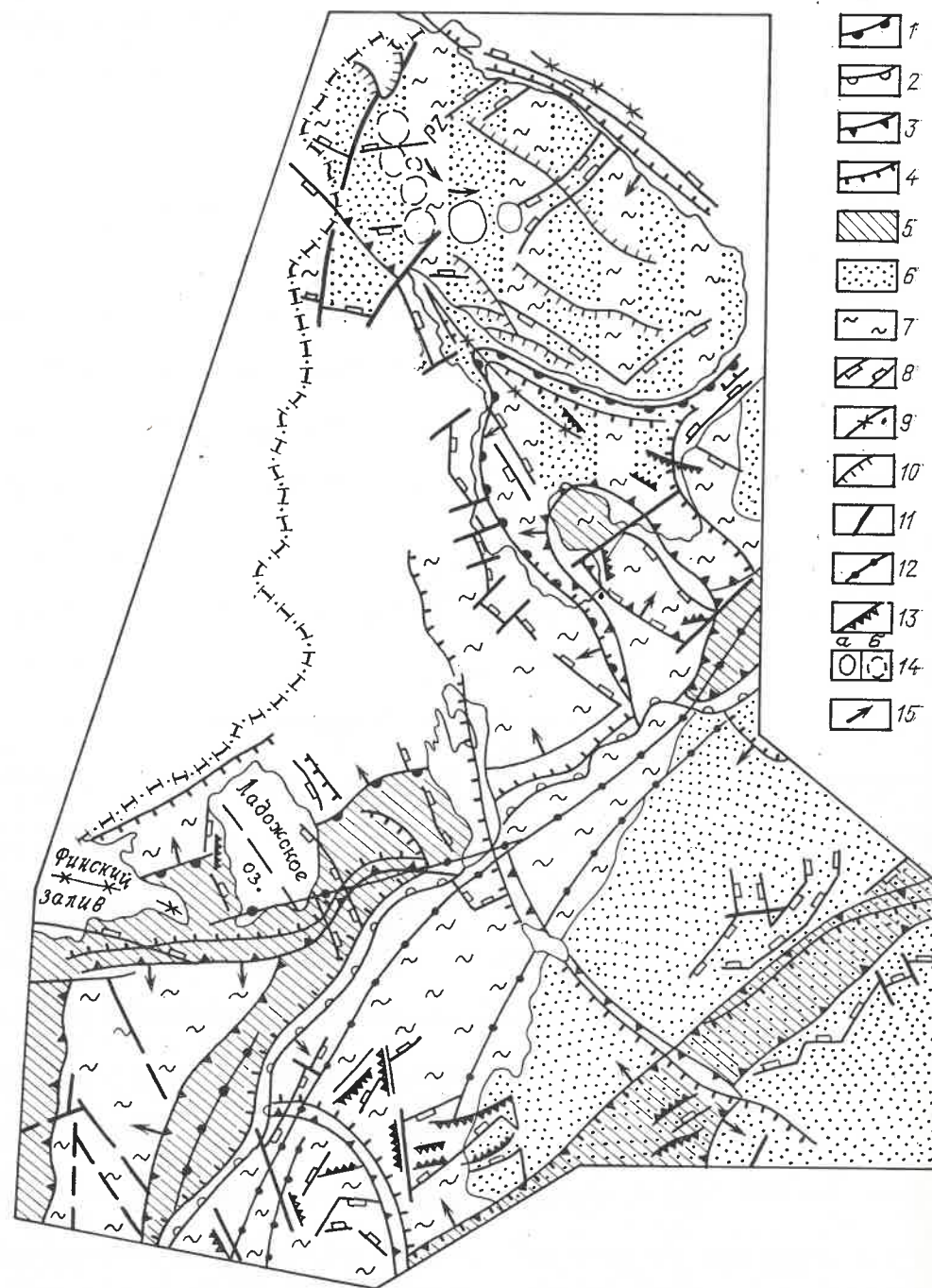


Рис. 2. Геодинамические обстановки рифейско-фанерозойского этапа развития территории: границы фанерозойских и более древних структур, подвергшихся воздействию неотектонических процессов: 1 — пород осадочного чехла, 2 — геоблоков, 3 — мега- и макроблоков; 4 — крупнейшие швы, разделяющие контрастные неотектонические структуры, подчеркнутые в рельефе уступами и депрессиями; 5 — зоны опусканий; основные типы структурных элементов фанерозойского этапа развития; 6 — внутренние части континентов, 7 — пассивные окраины

континентов (для Кольского п-ова и акватории Ладожского моря типы 6 и 7 установлены предположительно), 8 — рифты, авлакогены, грабены рифейско-фанерозоя, 9 — оси раздвига некоторых рифтов, 10 — зоны надвигов, 11 — субвертикальные поперечные разломы рифтогенных структур, 12 — элементы региональных структур вращения, 13 — уступы доклада, 14 — щелочные интрузии центрального типа — следы воздействия «горячей точки» мантии, вращающейся литосферную микроплиту (а — утолщенные, б — предполагаемые), 15 — векторы генеральных напряжений

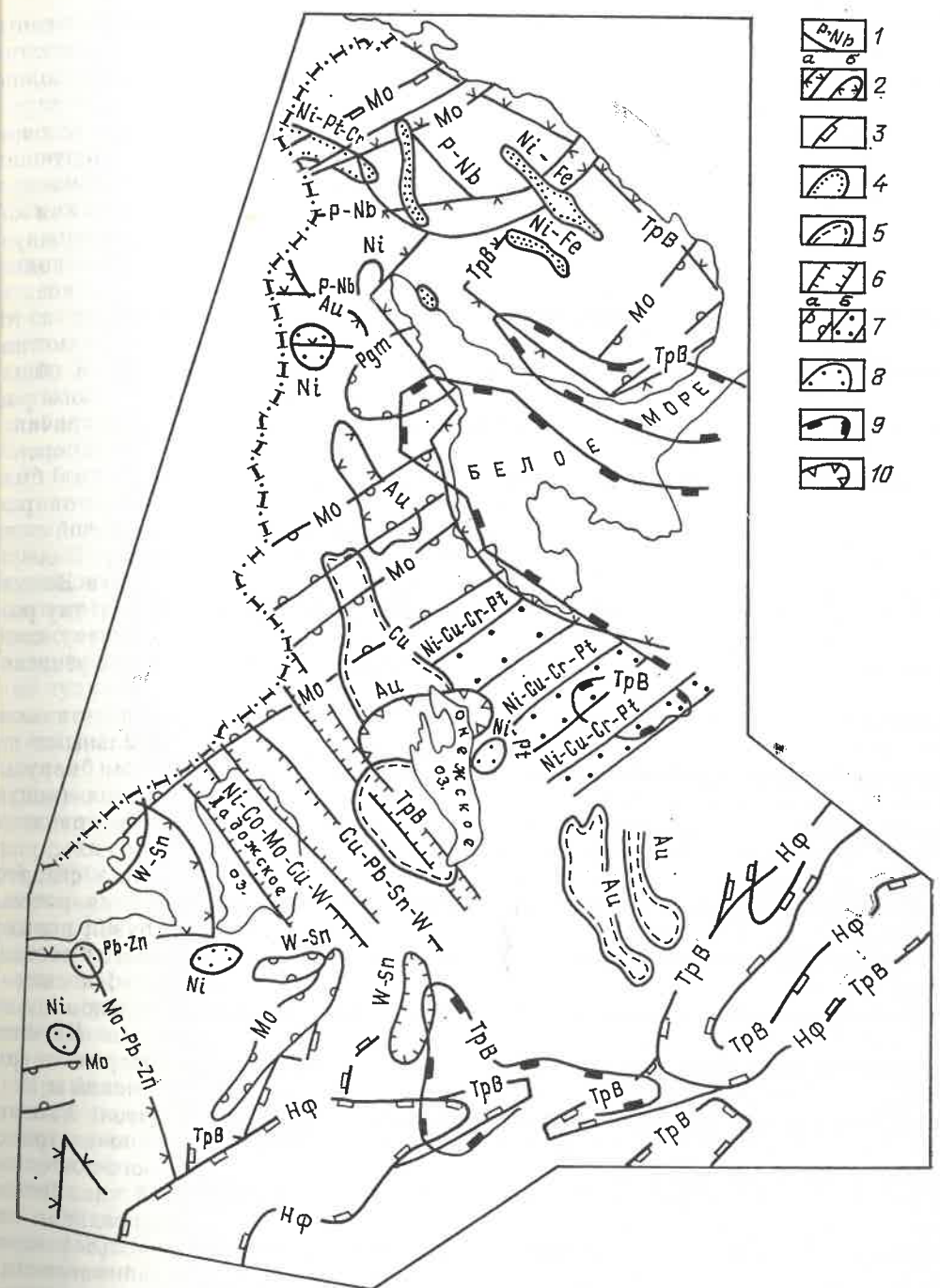


Рис. 3. Прогнозно-металлогенетическая схема: территории, перспективные на поиски полезных ископаемых, сформировавшихся: 1 — под воздействием «горячих точек», 2 — во внутриконтинентальных рифтах (а) и авлакогенно-перикратонных прогибах (б), 3 — в авлакогенах, 4 — в глубинных частях океанической коры, 5 — в амфиклизах и бассейнах краевых морей, 6 — в зонах субдукции, 7 — в зонах развития трансформных разломов, связанных с зонами субдукции (а) и с рифтогенезом (б), 8 — в узлах пересечения трансформных и рифтообразующих разломов, 9 — над мантийными выступами в коре палеоокеанического типа, 10 — в вулканотектонических депрессиях; ТрВ — трубки взрыва, Ргм — пергиты, НФ — нефть

вых морей, 6 — в зонах субдукции, 7 — в зонах развития трансформных разломов, связанных с зонами субдукции (а) и с рифтогенезом (б), 8 — в узлах пересечения трансформных и рифтообразующих разломов, 9 — над мантийными выступами в коре палеоокеанического типа, 10 — в вулканотектонических депрессиях; ТрВ — трубки взрыва, Ргм — пергиты, НФ — нефть

разрезе калевия известны вулканы различного состава, слагающие пояса и поля неправильной формы. Состав и характер распространения дают основание рассматривать эти породы в качестве индикаторов островодужной геодинамической обстановки [15]. Важным индикатором геодинамической обстановки субдукции следует считать и наблюдаемую в Приладожье классическую горизонтальную зональность метаморфизма: от зеленосланцевой в краевой северо-восточной части подвижной зоны через субфации амфиболитовой до гранулитовой фации метаморфизма на крайнем юго-западе района (Р. А. Хазов, 1982).

Во второй половине калевийско-вепсского этапа происходили отмирание зоны субдукции, сопровождавшееся внедрением мигматит-плутонов мигматит-гранитовой формации [9], и общее поднятие территории (орогенез) с одновременным формированием молассовой формации вепсского надгоризонта. В конце этапа «граниты поперечных рядов» интродуцировали в породы «рамы», а осадки вепсия были смяты в асимметричную синклиналь. Граниты, судя по их пространственному размещению, генетически связаны с активизацией континентальных отрезков трансформных разломов, синхронной с затуханием активности вдоль зоны субдукции. Механизм становления таких гранитов изучен на примерах реконструированных мезозойских зон субдукции (Л. М. Натанов, А. П. Ставский, 1985). На востоке Балтийского щита в качестве «гранитов поперечных рядов», связанных генетически с трансформными разломами калевийско-вепсского (свекофенского) этапа, рассматриваются комплексы гранитный и гранитов рапакиви в Приладожье и гранит-монцодиоритовый (арапорьяский) — на северо-западе Кольского п-ова. В последнем поперечное (по отношению к простиранию региональных структур) размещение однотипных интрузивных массивов было отмечено исследователями [9] ранее, но не имело генетического объяснения. Не является, видимо, случайным и метасоматический характер большинства названных гранитоидов.

В центре Кольского п-ова на рассматриваемом этапе возникла геоди-

намическая обстановка коллизии континентальных палеомикроплит, индикатором которой, по существующим представлениям [7], следует считать комплекс щелочных гранитов и сиенитов. Структурный индикатор обстановки коллизии — система предрифейских надвигов Имандра-Варзугской зоны территории к юго-западу от нее. Причиной и механизмом соответствующих тангенциальных движений значительной амплитуды был, по-видимому, рывок в осевой части Кандалакшского рифта, возродившегося в качестве континентальной структуры на месте архейского океанического рифта. Этот рывок обусловил тангенциальные движения к юго-западу, индикаторами которых являются взбросы и надвиги с северо-восточным падением повелостей смещения на северо-восточной границе зоны Ветреного Пояса [9].

Заключительной стадии описываемого этапа отвечают, вероятно, и интрузивные траппы Карелии, образующие Заонежскую и Западно-Прионежскую амфиклизы. Таким образом, к началу рифейского этапа в регионе сформировалась зрелая консолидированная земная кора преимущественно континентального типа. Плитотектонические процессы, приводящие к аккреции (наращиванию) континентов за счет новообразованной на границах литосферных плит континентальной коры, переместились на запад от описываемой территории. Связь их с рассмотренным ниже внутриконтинентальным рифтогенезом рифейского этапа не ясна.

В следующий, рифейский этап развития региона имело умеренно-структурный характер, что выразилось в формировании грабенообразных структур — рифтов и их погребенных аналогов — авлакогенов (Р. Н. Вейс, 1978). Эти структуры и вещественные комплексы, которыми они сложены, являются индикаторами рифтовой геодинамической обстановки внутренних частей континента. Характерны малые скорости вертикальных движений, рассеянный магматизм, отсутствие центрального грабена в каждой из рифтов и, как следствие, слабо-трастный рельеф. К настоящему моменту не решен вопрос, существовали ли сплошной чехол рифейских от-

ложений или они накапливались только в рифтах синхронно с развитием рифтообразующих разломов.

Системы рифейских авлакогенов, рифтов и грабенов частично унаследовали структурный план более древних этапов, в частности, Ладожский грабен совпадает с фрагментом калевийско-вепсской зоны субдукции, Кандалакшско-Двинский рифт соответствует архейскому океаническому рифту, а рифтогенная система Среднерусского авлакогена развита вдоль подвижной зоны архейско-протерозойского возраста. Перечисленные рифейские структуры вписываются в одну из «регрессивных решеток», образованных зонами разрывных нарушений более древнего заложения. Зоны данной решетки расположены с шагом около 100 км и ориентированы по двум взаимно ортогональным направлениям — северо-восточному 70—75° и северо-западному 340—345° [4].

Широкое развитие структур растяжения, характерное в рифее для всей Восточно-Европейской платформы (континентальной части Восточно-Европейской литосферной плиты), было вызвано повсеместным усилением тангенциальных напряжений, следствием чего стала также магматическая деятельность (интрузии и эксплозии) в прибрежных частях Крестецкого, Ладожского и других авлакогенов [9].

В течение венд-фанерозойского этапа формировался осадочный чехол Восточно-Европейской платформы. До окончания каменноугольного периода включительно на той части платформы, которая традиционно именуется Русской плитой, существовала палеогеодинамическая обстановка пассивной окраины континента [7], а на Балтийском щите — внутренней части континента. В пермский период, мезозойскую и кайнозойскую эры весь регион представлял собой внутреннюю часть континента.

Палеорифты рифейского заложения в обстановке пассивной окраины континента продолжали развиваться как амфиклизы и прогибы с тенденцией к затуханию вертикальных движений. Одновременно в пределах Балтийского щита образовалась новая система континентальных рифтов как осложнение

аналогичных структур предыдущего этапа.

Принципиально новый момент — сопряженность палеозойских рифтов с «горячей точкой», индикаторами которой являются Хибинский, Ловозерский и Контозерский щелочные интрузивные массивы. Все эти структуры, вероятно, имеют генетическую связь с событиями, сопровождавшими закрытие океана Япетус [7, 10] и могут рассматриваться в качестве типичных образований глубоких тыловых зон субдукции и коллизии, точнее — тыловых зон Скандинавских каледонид.

Анализ соотношения векторов раскрытия Кандалакшского рифта, векторов надвигов Кольского п-ова с дугообразной системой кольцевых структур, дешифрованных по космоснимку (в том числе, названных выше щелочных массивов), позволяет даже наметить траекторию вращения Кольской литосферной плиты над «горячей точкой». Кольцевые структуры с центрами на этой линии (к западу от известных щелочных массивов) являются, вероятно, индикаторами не вскрытых эрозией аналогичных массивов.

Разрезы палеозоя на Балтийском щите дают представление об их значительной первоначальной мощности: по данным В. Ю. Горянского и В. С. Кофмана (1979), мощность палеозойских образований в Контозерской кальдере более 1500 м. О существенной мощности палеозойского осадочного чехла на Кольском п-ове свидетельствует относительное современное превышение Хибин. Оно, очевидно, заведомо меньше мощности девонских и каменноугольных осадков и вулканитов, послуживших вмещающими породами для интрузий нефелиновых сиенитов хибинского комплекса.

Реликтовый и спорадический характер современного распространения палеозойских образований вне рифтовых зон не позволяет пока решить вопрос о масштабах среднепалеозойской трансгрессии на Балтийском щите. Не ясно также, заливался ли морем весь субрегион, включающий Западную и Центральную Карелию. В конце палеозойской — начале мезозойской эры осадочно-вулканогенные образования были эродированы. Во всяком случае, не позднее начала юры кристалличе-

ские породы (Кольского п-ова) были свободны от покрова палеозойских платформенных отложений (Л. А. Кириченко, 1970).

Отдаленным следствием плитотектонических процессов, происходивших в палеозое (с которыми связано и формирование на северо-западе Атлантики океана Япетус), являются также «структуры вращения», которые удается реконструировать с помощью мелкомасштабных карт по характеру рельефа кристаллического основания, геологических границ [5] и по ориентировке разломов [6].

В мезозое — кайнозое продолжают развиваться системы рифтов и грабенов, заложенных в палеозое и образующих «регматическую решетку» из субширотных и субмеридиональных зон разрывных нарушений. В геодинамической обстановке внутренних частей континента продолжались, по-видимому, формирование структур вращения и тектоническая активизация дизъюнктивов.

Беломорский срединно-океанический рифт архейского заложения и Ладожская калевийская зона субдукции (Фенно-Карельский сутурный шов), с одной стороны, и ортогонально к ним ориентированные региональные разломы, ограничивающие постархейский Карельский континент с северо-запада и юго-востока и трактуемые нами как трансформные, с другой, образуют в совокупности «ячейку» планетарной регматической сети (решетки) надрегиональных разломов мантийного заложения [4]. Размеры такой «ячейки» около 500×500 км. На разных этапах развития территории указанные надрегиональные структуры меняли свою роль: они оказывались то рифтами, океаническими или континентальными; то зонами субдукции; то трансформными разломами, ограничивающими кристаллические щиты. Эти закономерности, по мнению авторов, подтверждают перспективность того направления в геотектонике, представители которого доказывают непротиворечивость ротогенетической концепции и теории тектоники плит [4, 8].

Районирование Северо-Запада СССР с позиций плитотектонических и ротогенетических концепций позволяет иначе трактовать закономерности разме-

щения ряда традиционных полезных ископаемых региона и обосновать планирование зоны субдукции. По секвестивности территории на некотором положении (по отношению к основным видам минерального сырья (подстилающим структурам) известных рис. 3). Анализ элементов структур металлогенических зон молибденовой архейских этапов дает возможность предсказать обнаружение магматических сегрегационных хромитовых рудных залежей в кварцевых жилах рудных залежей в тектонизированных разломах, которые продолжают да- трузивных массивах габбро-анортозитовой и гипербазитовой формаций вплоть до Беломорья и Кольского п-ова. Отмеченные закономерности на медно-никелевое оруденение извлекать экстраполировать и на платиноиды. На основе палеогеодинамического анализа структур сумийско-сарматского этапа устанавливаются закономерности в расположении расслоенных интрузий (ультра-) базитов, выходящих за пределы зоны субдукции — перспективность которых на медно-никелевое оруденение и сопутствующие элементы давно установлены. Трансформные разломы данного этапа определяют также локализацию пегматитовых полей Западного Беломорья.

В течение ятулийского этапа относительно стабильного развития в континентальных рифтах и частично застывших их интра- и перикратонных прогибах накопились мощные терригенные толщ, перспективные на золото. Кроме выделенных ранее (Т. В. Либица и др., 1979) металлогенических зон вдоль восточной границы Карельского мегаблока, установлена потенциально золотоносная площадь в южном обрамлении по реликтам каногенно-осадочного ятулия с проявлениями металла. Положительно оценены перспективы Заонежской вулканотектонической структуры.

Вследствие геологических событий калевийско-вепсйского этапа сформировалось сложное по составу оруденение Северного Приладожья. Реконструированная здесь зона субдукции с региональными надвигами и мигит-плутонитами контролирует медно-никелевое (с кобальтом) сульфидно-апокарновое железо-цинково-оловянное и скарновое вольфрамовое оруденение. Размещение связанных с оруденением рудных полей контролируется непосредственно массивами «гранитно-поперечных рядов», становление которых происходит при активизации ряда традиционных полезных ископаемых региона и обосновать планирование зоны субдукции. По секвестивности территории на некотором положении (по отношению к основным видам минерального сырья (подстилающим структурам) известных рис. 3). Анализ элементов структур металлогенических зон молибденовой архейских этапов дает возможность предсказать обнаружение магматических сегрегационных хромитовых рудных залежей в кварцевых жилах рудных залежей в тектонизированных разломах, которые продолжают да- трузивных массивах габбро-анортозитовой и гипербазитовой формаций вплоть до Беломорья и Кольского п-ова. Отмеченные закономерности на медно-никелевое оруденение извлекать экстраполировать и на платиноиды. На основе палеогеодинамического анализа структур сумийско-сарматского этапа устанавливаются закономерности в расположении расслоенных интрузий (ультра-) базитов, выходящих за пределы зоны субдукции — перспективность которых на медно-никелевое оруденение и сопутствующие элементы давно установлены. Трансформные разломы данного этапа определяют также локализацию пегматитовых полей Западного Беломорья.

рудогенетическим воздействием Центральнокольской «горячей» точки, можно предположить, что Хибинско-Контозерская ветвь самой молодой (среднепалеозойской) рифтовой системы Кольского п-ова определяет локализацию месторождений, связанных с нефелиновыми сиенитами и щелочно-ультраосновными породами (Al, P, Fe, TR, флогопит). Здесь возможно обнаружение не вскрытых эрозией (или погребенных под четвертичными отложениями) новых интрузивных массивов центрального типа.

Дискуссионен вопрос о правомерности отнесения к палеозою такой важной в металлогеническом отношении никеленоносной структуры как Печенгская вулканотектоническая депрессия на северо-восточном окончании рифейско-фанерозойского Ботнического рифта. Однако не вызывает сомнений палеозойский возраст заложения ряда других рифтогенных структур региона: Нарвского меридионального рифта и широтного рифта Финского залива с перспективами на полиметаллы и отчасти на молибден.

Таким образом, приведенные данные по геодинамике и металлогении рассмотренной части Восточно-Европейской платформы подтверждают целесообразность мобилистской переинтерпретации фактического материала. Это расширяет возможности металлогенического анализа территорий и свидетельствует о необходимости перехода к реконструкциям моделей рудогенерирующих систем с использованием информации о состоянии вещества на мантийном уровне [1] для более точного и обоснованного металлогенического прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович И. И., Клушин И. Г. Геодинамика и металлогения складчатых областей. — М.: Недра, 1987.
2. Апольский О. П. О тектоническом развитии восточной части Балтийского щита в раннем докембрии // Геотектоника. 1978. № 5. С. 52—60.
3. Борукаев Ч. Б. Структуры докембрия и тектоника плит. — Новосибирск: Наука, 1985.
4. Гарбар Д. И., Трофимов О. В., Чечель Э. К. Новые данные по дизъюнктивной тектонике Северо-Запада Восточно-Европейской платформы (геотектонический и металлогенический аспекты) // Геология и перспек-

- тивы рудоносности фундамента древних платформ. Л., 1987. С. 347—354.
5. Геологическая карта СССР и прилегающих акваторий масштаба 1:2 500 000/Под ред. Д. В. Наливкина.— Л.: ВСЕГЕИ, 1983.
 6. Карта разломов территории СССР и сопредельных стран масштаба 1:2 500 000/Под ред. А. В. Сидоренко.— Л.: Недра, 1978.
 7. Ковалев А. А. Мобилизм и поисковые геологические критерии.— М.: Недра, 1978.
 8. Красилов В. А. Тектоника плит и ротационный режим планеты//Изв. АН СССР. Сер. геол. 1976. № 1. С. 74—82.
 9. Металлогения восточной части Балтийского щита.— Л.: Недра, 1980.
 10. Митчелл А., Гарсон М. Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений.— М.: Мир, 1984.

УДК 551.461

Ю. А. МИХАЙЛОВ, А. Е. ШЛЕЗИНГЕР (ГИН АН СССР)

Относительные колебания уровня моря и конседиментационная тектоника

Исследования эвстатических колебаний уровней палеоморей и конседиментационной тектоники осадочных бассейнов позволяют совершенствовать их геологические модели и улучшать методы сейсмостратиграфического прогнозирования литологии осадочных тел, а следовательно, и неантиклинальных нефтегазоперспективных объектов.

В последнее время большое внимание определению колебаний уровня моря уделяет сейсмостратиграфия [2], с использованием которой можно непосредственно устанавливать только относительные его колебания. Последние могут быть вызваны либо изменением объема воды или емкостей в системе Мирового океана, либо подъемом или опусканием дна бассейна, либо их совместным действием. Цикл относительного изменения уровня моря обычно состоит из постепенного подъема, стабилизации и быстрого понижения. Как следует из детального анализа, постепенное и общее поднятие складывается из элементарных этапов быстрых подъемов и стабилизации — парациклов.

Относительное поднятие уровня моря определяется по прибрежному (береговому) подошвенному налеганию, причем наиболее точно, если в нем участвуют литоральные отложения.

11. Негруца В. З. Раннепротерозойские этапы развития восточной части Балтийского щита.— Л.: Недра, 1984.
12. Никитин И. В. Тектоника зоны Колымо — Воронья в свете концепции горных движений//Региональная тектоника раннего докембрия СССР.— Л.: Недра, 1980. С. 104—111.
13. Новикова А. С. Тектоника основания точно-Европейской платформы.— М., ука, 1971.
14. Прияткина Л. А., Шарков Е. В. Геология Лапландского глубинного разлома (Балтийский щит).— Л.: Недра, 1979.
15. Gaal G. Proterozoic tectonic evolution of late Svecofennian plate deformation of Central Baltic shield//Geol. Rund. Vol. 71. P. 158—170.

Принята редколлегией 30 января 1984 г.

Если в прибрежном налегании участвуют континентальные слои, то при нахождении его нужно учесть их высотное положение. В прибрежных равнинах это могут быть несколько десятков метров. Когда в прибрежном налегании участвуют относительно глубоководные морские слои, то следует прибавлять глубину их конседиментации. Итак, для определения гипсометрии уровня моря из абсолютной отметки прибрежного налегания слоев вычитается палеовысота налегания континентальных отложений, прибавляется палеоглубина налегания морских. Указанные параметры находятся геологическими методами.

По мнению П. Р. Вейла и др. относительное поднятие уровня моря нужно определять в регионах, где интенсивность тектонических деформаций не слишком велика. Прибрежное налегание следует корректировать с учетом погрешностей, обусловленных различием мощностей слоев из-за неравномерного прогибания дна бассейна. Необходимо также принимать во внимание уплотнение пород.

Относительная стабильность уровня моря при отсутствии конседиментационного погружения фиксируется в относительном прилегании. Уровень моря представляет собой базис осадконакопления.

При его стабилизации осадки должны пронестись в более глубокие части, образуя тела бокового нарастания, начало которых намечает крошечное прилегание. При стабилизации уровня моря в относительно глубоководном бассейне продолжают образовываться слои прибрежного налегания, их палеоглубины вверх по разрезу (должны) уменьшаться до полного прекращения процесса. Таким образом, если уменьшение палеоглубин в слоях прибрежного налегания больше их мощности, то относительного подъема уровня не происходит. С другой стороны, второстепенные поверхности относительного прилегания могут создаваться в отрезке интенсивного привноса кластического материала, например, в лопастях дельт.

Суммарный относительный подъем уровня моря, охватывающий отрезок времени свыше нескольких миллионов лет, как правило, характеризуется более кратковременными импульсами подъема, чередующимися с интервалами стабилизации. В целом ускоренные подъемы происходят чаще и отличаются большей амплитудой в начальной стадии общего подъема, а паузы стабилизации проявляются чаще и становятся более продолжительными к концу, замедляя подъем.

Относительное понижение уровня моря определяется по снижению и региональному наклону слоев подошвенного налегания в сторону моря. Оно происходит быстро, в течение менее 1 млн лет. В процессе понижения уровня моря слои разреза, образовавшиеся при его подъеме, эродируются и частично уничтожаются. Они сохраняются при дифференцированном погружении дна бассейна, компенсируемом осадками. Слои прибрежного налегания могут быть представлены морскими фадами, тогда необходимо учитывать их палеоглубины, что осложняет количественное определение относительного понижения уровня моря. Поскольку крупное понижение уровня моря определить трудно, довольно редко удается построить количественные графики.

В процессе подъема, стабилизации или снижения уровня моря, по данным П. Р. Вейла и др. [2], могут отмечаться трансгрессия или регрессия берего-

вой линии и углубление или обмеление бассейна. Эти исследователи считают, что относительный подъем уровня моря, трансгрессивная последовательность разреза и миграция литофаций чаще не зависят друг от друга и связаны с разными процессами. То же относится и к понижению уровня моря, регрессивной последовательности разреза и миграции фаций. Трансгрессивная и регрессивная последовательности разреза и миграции литофаций, по их мнению, прежде всего зависят от количества терригенно-обломочного материала, поступающего в бассейн, а относительный подъем или понижение уровня моря связаны с колебаниями водного слоя и дна бассейна.

При относительном подъеме (а также стабилизации) уровня моря и значительном поступлении терригенно-обломочного материала прибрежные фации сместятся в сторону моря, и в разрезе будет фиксироваться регрессивная последовательность. Наоборот, при понижении уровня моря по мере снижения привноса терригенно-обломочного материала морские фации сместятся в сторону суши, и в разрезе будет отмечаться трансгрессивная последовательность.

По нашему мнению, существование латеральной цикличности бокового нарастания палеосклонов (клиноциклов) говорит о ведущей роли пульсационного изменения объемов транспортируемого терригенно-обломочного вещества, с которым связано закономерное изменение литологии осадков. Пульсации могут быть обусловлены колебаниями уровня моря, в этом случае эвстазия будет контролировать литологию.

Приведенные методические приемы определения относительного изменения уровня на практике сталкиваются с большими трудностями. Они связаны, прежде всего, с тем, что геометрия границ, свойственная прибрежному налеганию слоев, обусловлена геологическими процессами разной генетической природы. При латеральной миграции тектонического прогибания возникает конседиментационное налегание, а при захоронении подводного отрицательного рельефа — прислонение. Консидиментационное налегание и прислонение по форме близки к прибрежному нале-

ганию, хотя обусловлены совершенно иными геологическими процессами.

Второй, главной трудностью использования прибрежного налегания является его крайне редкое сохранение в разрезах. Периферии осадочных бассейнов, где образовывались слои прибрежного налегания, как правило, захватывались восходящими вертикальными тектоническими движениями и подвергались интенсивным процессам эрозии, которой чаще всего указанные формы уничтожались. Значительно шире распространены активно прогибавшиеся осадочные бассейны. В их пределах в зоне береговой линии прибрежное налегание не возникает, и слои морских фаций сменяются слоями континентальных.

На ряд недоработок построений П. Р. Вейла и др. [2] указывают зарубежные исследователи [4]. В. К. Питман [8] оспаривает значимость некоторых признаков сейсмической записи, которые интерпретируются как указания на быстрое падение уровня моря. Д. Т. Донован, Е. Дж. Джонс [6], В. К. Питман [8] считают вообще невозможным подсчитать скорость падения уровня. Кривая циклов первого порядка П. Р. Вейла и др. [2] не совпадает с графиками, построенными другими исследователями [5]. Н. А. Морнер [7] указывает, что сейсмостратиграфия не может решать глобальные задачи эвстазии и способна расшифровывать только региональные вопросы.

Дискутируется зависимость процессов седиментации от глобальных изменений уровня моря и тектонических движений. Например, А. Б. Уоттс и Ж. Торн [10, 11] пришли к заключению, что многие из вариаций перекрытия слоев осадочного чехла, которые П. Р. Вейл и др. [2] использовали для выявления циклов второго порядка колебания уровня моря, связаны с тектоникой. Надо отметить, что специальный рейс бурового судна «Гломар Челленджер» [9] не доказал правомерность построений П. Р. Вейла и др. Не все предполагаемые перерывы осадконакопления были обнаружены. Однако самое главное, что проверка данного явления предлагаемым путем не корректна. Стратиграфические перерывы совершенно не обязательно связаны с понижениями уровня моря, а чаще все-

го обусловлены совершенно иными геологическими процессами. Поэтому пользоваться их для данной цели представляется возможным.

Для определения относительных колебаний уровня моря рекомендуем зоны распространения осадочных комплексов бокового наращивания (каноформ). Именно здесь можно относительно отделить слои, образующиеся в результате конседиментационного тектонического прогибания, от слоев, формирующихся вследствие относительного повышения уровня моря.

В пределах шельфа сохраняется равновесие между аккумуляцией и подводной эрозией, которое нарушается за счет тектонических движений и колебаний уровня моря. Нисходящие вертикальные конседиментационные тектонические движения непосредственно компенсируются слоями осадочного чехла. Они практически не меняют уровень водного слоя бассейна. Их отличает обычно существенная дифференциация толщины осадков в зонах наибольшего прогибания накапливаются максимальные мощности осадков, а при его ослаблении они переходят до полного выклинивания в незахваченных им площадях (рис. 1). Консидиментационные тектонические движения мало влияют на литофациальный состав осадков. Контуры прогиба не совпадают с положением береговой линии. Они могут пересекать ее. Вдоль береговой линии могут формироваться более мощные слои осадочного чехла в пределах шельфа, чем в море. Консидиментационные нисходящие движения являются главным фактором в создании структурного плана осадочного бассейна и дифференциации литоформационных параметров осадочных тел.

Восходящие дифференцированные вертикальные движения на акватории шельфа приводят к подводной эрозии поднимающихся участков дна, не меняя при этом уровень водного слоя. Это объясняется тем, что скорость водной эрозии дна, как правило, порядка выше скорости наибольшего относительного роста поднятий. Дно шельфа остается на том же гипсометрическом уровне, а уничтожаются слои его породы. Создаются подводные эрозионные срезы. При последующем захоронении их осадками возни-

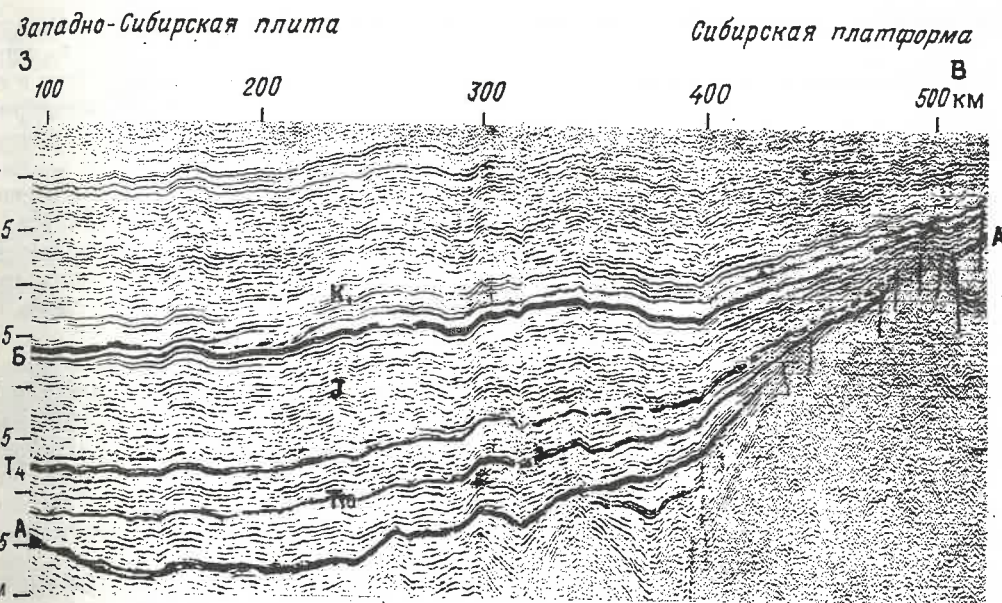


рис. 1. Фрагмент регионального сейсмического профиля, демонстрирующий конседиментационное утонение слоев осадочного чехла на восточном борту Западно-Сибирского бассейна

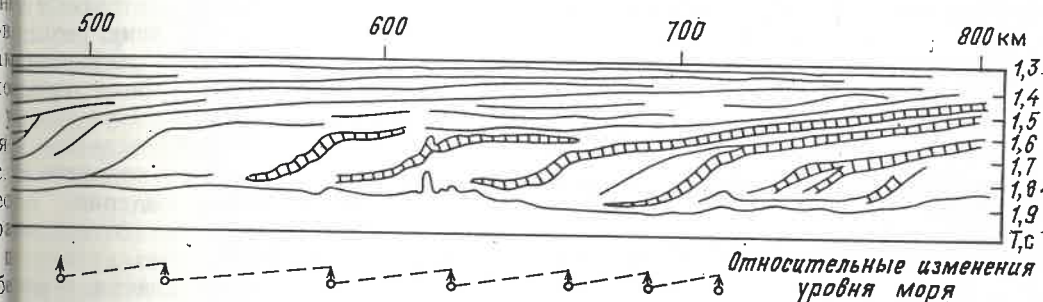


рис. 2. Клинопокровы и клиноциклиты неокомских отложений Западной Сибири по региональному профилю как пример определения изменений уровня моря: пунктир выделены клинопокровы

верхности угловых (структурных) несогласий. Границы восходящих вертикальных движений не совпадают с береговой линией. Эти движения играют существенную роль в создании структурного плана осадочных бассейнов, особенно резко выраженных структур второго и третьего порядка. Относительные колебания уровня моря могут происходить за счет как изменения объема воды или емкости мирового океана, так и тектонического подъема или опускания дна бассейна. Последнее в отличие от конседиментационных нисходящих или дифференцированных восходящих вертикальных движений компенсируется изменением толщины водного слоя, что приводит к колебаниям уровня моря,

а следовательно — к нарушению равновесия между аккумуляцией и подводной эрозией. При относительном подъеме уровня моря происходит равномерная аккумуляция до установления равновесия. При этом обычно меняется литология накапливающихся осадков. При относительном снижении уровня моря идет равномерная подводная эрозия до установления равновесия. Относительная эвстазия в отличие от тектонических движений, создающих структурный план, имеет более резкий импульсный характер и равномерно охватывает большие площади. Она приводит к изменению толщины водного слоя, что вызывает аккумуляцию или подводную эрозию. Тектонический процесс относительной эвстазии

отражается в очертаниях береговой линии.

Глубоководные котловины благоприятны для развития тел комплекса бокового наращивания. Они широко распространены (слагают разрез ачимовской свиты неоккома) и хорошо изучены на территории Западно-Сибирской плиты. Тела комплекса бокового наращивания здесь состоят (рис. 2) из клиноциклитов, разделенных клинопокровами [1]. Первые сложены глинисто-алевролит-песчаными, а вторые — преимущественно глинистыми осадками. Центральные, наиболее мощные их части (клиноформы) по падению резко утоняются (фондоформы), переходя в маломощные депрессионные фации, местами до полного выпадения из разреза. Клинопокровы по восставанию сменяются обычно с незначительным утонением или без него шельфовыми глинистыми пачками (пимская, чеускинская и др.). Тыловая часть клиноциклитов переходит, резко сокращаясь в мощности, в шельфовые песчано-глинистые пласты (продуктивные пласты группы Б). Фронтальная, как правило, не имеет возрастных аналогов на шельфе. Головы пластов клиноциклитов несогласно, очень часто с признаками эрозионного среза перекрываются шельфовыми пластами.

Шельф во время формирования фронтальных частей клиноциклитов представлял собой область транзит-терригенного материала, который сносился в котловины. Превращение шельфа вновь в арену аккумуляции осадков может произойти за счет как конседиментационного тектонического прогибания, так и относительного подъема моря. Шельф покрывается новыми слоями осадочного чехла, которые приводят к гипсометрическому повышению бровки склона. Ее вертикальное наращивание происходит вследствие как конседиментационного прогибания без повышения уровня моря, так и относительной эвстазии с повышением уровня. Именно последнее должно измеряться для построения кривых колебаний уровня моря. Как показано выше, при относительном его подъеме формируются выдержанные глинистые пачки, не испытывающие конседиментационного изменения мощностей и резко отличающиеся литоло-

гическим составом от подстилающих покрывающих отложений. На территории Западно-Сибирской плиты к ним относятся ачимовские клинопокрова. Их мощности определяют амплитуду подъемов неоккомского моря.

По расшифровке внутреннего строения клиноциклитов определяется понижение уровня моря, приводящее к превращению шельфа в область транзита и подводной эрозии слоев фронтальной части. Клиноциклит прекращает свое развитие при новом носителем повышении уровня моря, которое благоприятствует уменьшению приноса терригенного и накопления глинистого материала клинопокровами и их шельфовых возрастных аналогов. По особенностям морфологии пачек склонов определяются мелководные глубоководные шельфы. Первые характеризуются крутой формой склона, четко выраженной бровкой за

эрозионного подрезания кромки шельфа. Вторые выявляются по дугообразной форме склона, отсутствию резкого перегиба кромки из-за прекращения комплексным исследованием остаточных процессов. Глубина депрессии части бассейна измеряется высотой бровки шельфовой террасы из стратотипических разрезов, но и И так, клинопокровы и клиноциклиты дают объективный материал о Мангышлаке, разрезов, вскрытых измерения относительных колебаний уровня моря. К сожалению, тела неоккомского бокового наращивания в разрезе осадочного чехла не повсеместно распространены, и указанная методика может быть применена для опирания представления о таксономических временных отрезках, но не в целом, известную летопись эвстазии, а только до сих пор лишь по работам А. И. Шлезингера фиксируют синхронизацию погружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гогоненков Г. Н., Михайлов Ю. А., Зюнович С. С. Анализ неоккомской клиноформы Западной Сибири по данным сейсмогеологии. // Геология нефти и газа. № 1. С. 22—30.
2. Сейсмическая стратиграфия. — М.: 1982.
3. Шлезингер А. Е. Достижение современной сейсмостратиграфии в раскрытии основных закономерностей строения осадочных бассейнов. // Литология мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Мирового океана. М., 1987. С. 164—182.
4. Шкала геологического времени/У. Б. Леленд, А. В. Кокс, П. Г. Ллевеллин и др. М.: Мир, 1985.

5. Cooper C. A. Eustasy during the Cretaceous: its implication and importance//Palaeogeogr., Palaeoclimatol. 1977. 22. P. 1—60.
6. Donovan D. T., Jones E. J. W. Causes of world-wide changes in sea-level//J. Geol. Soc. Lond. 1979. 136(2), P. 187—192.
7. Mörner N. A. Revolution in Cretaceous sea-level analysis//Geology. 1981. № 9. P. 344—346.
8. Pitman W. C. Relationship between eustasy and stratigraphic sequences of passive margins//Bull. Geol. Soc. Am. 1978. № 89. P. 1389—1403.

9. Testing the Vail depositional model//Nature. 1983. Vol. 306. P. 641—642.
10. Watts A. B. Tectonic subsidence, flexure and global changes of sea level//Nature. 1982. Vol. 297. P. 469—474.
11. Watts A. B., Toorne G. Tectonics global changes in sea level and their relationship to stratigraphical sequences at the US Atlantic continental margin//Marine and Petroleum Geology. 1984. Vol. 1. P. 319—339.

Принята редколлегией 30 января 1989 г.



СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

ДК 581:551.762(574-15)

И. КИРИЧКОВА, Н. А. ТИМОШИНА, Н. Я. МЕНЬШИКОВА (ВНИГРИ)

Литостратиграфия юрских отложений Мангышлака

Детальная литостратиграфия юрских континентальных отложений Западно-Казахстана стала возможной благодаря проведенным в последнее время комплексным исследованиям остаточных процессов. Глубина депрессии части бассейна измеряется высотой бровки шельфовой террасы из стратотипических разрезов, но и И так, клинопокровы и клиноциклиты дают объективный материал о Мангышлаке, разрезов, вскрытых измерения относительных колебаний уровня моря. К сожалению, тела неоккомского бокового наращивания в разрезе осадочного чехла не повсеместно распространены, и указанная методика может быть применена для опирания представления о таксономических временных отрезках, но не в целом, известную летопись эвстазии, а только до сих пор лишь по работам А. И. Шлезингера фиксируют синхронизацию погружения.

систематического состава комплексов растений и спорово-пыльцевых спектров позволил установить их четкую приуроченность к определенным стратиграфическим уровням и последовательное закономерное развитие палеофлоры во времени.

Развитие юрской флоры Закаспия характеризовалось довольно быстрыми темпами, особенно в среднеюрское время, и проходило в несколько крупных этапов. Временные рубежи изменения систематического состава палеофлоры при переходе ее из одного этапа в другой послужили обоснованием относительно изохронных уровней, прослеживаемых на значительной территории, и учитывались при определении возрастных границ региональных фитоэпифлор.

В основу детальной литостратиграфии юрских континентальных отложений Мангышлака (мощность их в южных районах 1350 м) положен метод выделения крупных региональных стратонтов — фитоэпифлор, подтвержденных стратофлорами [5], тафофлоры которых соответствуют крупным этапам в развитии палеофлоры единой фитоэпифлоры. Горизонты объединяют разнофациальные по простиранию отложения, охарактеризованные, однако, единными по таксономическому составу тафофлорами. Горизонты подразделяются на слои с флорой и слои

с палинофлорой, с присущими для них флито-стратиграфическими комплексами, отражающими определенную фазу в развитии палеофлоры в течение данного этапа. Отвечая, таким образом, естественным уровням развития палеофлоры в течение крупного этапа, слои по своему содержанию близки к биостратиграфическим зонам, широко прослеживаются по простиранию и являются надежным инструментом для целей корреляции разнофациальных отложений.

Юрские континентальные отложения Мангышлака нами подразделяются на три фито-горизонта: эргозинский (ранняя юра), мангышлакский (аален-байос) и сарыдиирменско-карамаинский (бат-келловей-оксфорд). Эргозинский горизонт выделен в объеме эргозинской свиты Южного Мангышлака, Северного Устьурта и соответствующей ее верхней части нижней песчано-углисто-конгломератовой пачки кокалинской свиты Горного Мангышлака (табл. 1). Его опорными разрезами являются разрез скважины Южного Мангышлака (площадь Жага, скв. 2, интервал 3078—3288 м), стратотипические и наиболее полные разрез кокалинской свиты Каратау (гора Кокала, родник Чага-Булак) [4, 8, 10, 11].

А. И. Киричковой [5] в объеме лишь песчано-углисто-конгломератовой пачки кокалинской свиты Каратау предложен чагабулакский горизонт. Однако, как показало проведенное в последние годы комплексное изучение палеоботанических данных из всей юрской толщи Мангышлака, палинокомплексы нижней части эргозинской свиты соответствуют тому же этапу в развитии палеофлоры, что и палинокомплексы нижней части кокалинской свиты. Это послужило основанием для расширения объема нижнего горизонта континентальной толщи за счет включения в него эргозинской свиты в целом. Соответственно, предлагается изменить название горизонта, исходя из того, что термин «чагабулакский» ранее уже был использован.

Эргозинский горизонт представлен сугубо континентальными осадками различного генезиса: аллювиальными, пролювиальными, бассейновыми (эргозинская свита) и озерно-болотными

(кокалинская свита), резко меняющимися по простиранию. Это в основном песчаники с линзами конгломератов, брекчий, глинисто-алевритовые породы, пестрые глины с прослоями песчаников, углей, каолинистых пород. Мощность горизонта до 350 м.

На рассматриваемой территории горизонт представлен не в полном объеме. Наибольшая мощность (до 350 м) установлена в Южном Мангышлаке. Здесь горизонт (разные слои эргозинской свиты) залегает на пермско-триасовой свите; сложен глинами, песчано-глинисто-конгломератовой прослоями алевритов, песчаниками, углей. В Каратау развита лишь верхняя часть, отвечающая нижнему этапу эргозинской свиты. Последняя характеризуется наличием *Nilssoniopteris papillifera*, *N. linearis*, *Anomozamites asiaticus*, *Pterophyllum baequale*, охарактеризованные также чешским несогласием перекрывает кокалинским флито-стратиграфическим ско-триасовые отложения, выположенные по площади впадины дола. В нижней части горизонта (мощность 55 м) во всех ее разрезах Горного Мангышлака (горы Карадиирмень, Кокалин, алевритистых глин с прослоями, Сары-Су, колодец Шаир, родник Чага-Булак и др.). Мощность их в

Соответствующая горизонту Южного Мангышлака 40 м, в закрытых пещерах эндемизма резко выделяется.

Возраст эргозинского горизонта приурочен к синхронным палеофлорам. В ее составе преобладают: лосеменные, главным образом березы; слои с жагинским палинокомплексом из родов *Anomozamites*, *soniopteris*, *Pterophyllum*, *Williamsia*, *Ptilophyllum*, *Williamsoniella*, *Cycadites*, *Pagiophyllum*, *Pseudotorellia*. По данным сравнительного анализа состав эргозинского горизонта с аналогичными комплексами спор и пыльцы из синхронных стратифлор дополняется роголистниками, папоротниками, хвойными, *Cladophlebia*, *Raphaelia*, *Lobifolia*, установленными в стратифлорах Северного Кавказа, Румынии, Донбасса [10], где возраст их констатируется наличием фауны из морских прослоев континентального разреза. Кокалинский комплекс очень разнообразен по систематическому составу, отличается крайним эндемизмом. В силу этого он не только по составу, но и по соотношению доминирующих форм не имеет себе подобных среди синхронных тафофлор смежных территорий. Следует отметить, что тоарский возраст кокалинского комплекса растений принимается нами с учетом представлений В. А. Вахрамеева [3] о слабом видовом разнообразии в эргозинское время рода *Coniopteris* и отсутствии рода *Klukia* в южных флорах

Европейско-Синийской палеофлористической области.

Эргозинский горизонт несогласно, местами с перерывом перекрывается среднеюрской толщей.

В. Н. Безносовым [2] в среднеюрской толще Мангышлака и Устьурта выделены региональные горизонты — тонашинский, карадиирменский*, сарыдиирменский, включающие одноименные свиты. Они вошли в стратиграфические схемы Казахстана, принятые на III Казахском стратиграфическом совещании (г. Алма-Ата, 1986 г.). В основе их выделения лежат геологические признаки — цикличность осадконакопления, характер распространения осадков, условия залегания, закономерности изменения состава пород и условий осадконакопления по разрезу и площади и т. д. Региональные же флито-стратотонны нами установлены по биостратиграфическим принципам. Поэтому объем предлагаемых региональных стратотоннов не совпадает с объемом литостратотоннов. Представляется, что для широких хроностратиграфических корреляций континентальных отложений, особенно в условиях их крайней полифациальности и невыдержанности по простиранию, более приемлемы флито-стратиграфические методы расчленения и корреляции, т. е. методы, учитывающие особенности комплексов растений и характер их изменения по разрезу и площади.

В средне- и верхнеюрской толще Мангышлака и Устьурта выделены мангышлакский и сарыдиирменско-карамаинский фито-горизонты, охарактеризованные одноименными стратифлорами. Мангышлакский** (тонашинский и карадиирменский литогоризонты, по В. Н. Безносову) объединяет верхнюю песчано-глинистую пачку Горного Мангышлака, западных чинков Устьурта (урочище Кугусем), тонашинскую свиту Восточного (колодец Огуз, горы Тонаша, Карамая, урочище Кугусем) и Южного Мангышлака, карадиирменскую и низы сарыдиирменской свиты Мангышлака и Устьурта (см.

* Первоначально автором выделялся как джанайский горизонт, входящий вместе с тонашинским в карадиирменскую серию.

** Ранее нами [5] выделялся как каратауский горизонт. Название оказалось преокупированным.

Отдел	Ярус	Подъярус	Региональные стратиграфические подразделения		Каратау		Огюз, Тонаша, Туесу	Карамая, Кугусем	Южный Мангышлак	Северный Устюрт	Кырын, Бузачи	Макроостатков растений	Комплекс	Палинокомплексы	Стратифлоры																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			Горизонт	Слои с флорой		Западный										Восточный																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
				по макроостаткам растений	по спорам и пыльце																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Верхний	Оксфордский		Сарыдиирменско-карамаинский		Слои с <i>Glassopolis</i>	Чагабулакская свита			Агинышская свита	Чагабулакская свита	Шорджинская свита	Агинышская свита		Карамаинский	Сарыдиирменско-карамаинская																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
						10 м	30 м	10 м	280 м	240 м	210 м	210 м																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Средний	Батский	Верхний	Средний	Слои с <i>Equisetites beanii</i> , <i>Coniopteris vialovae</i> , <i>Pagiophyllum setosum</i>	Слои с <i>Cyathidites</i> , <i>Classopolis classoides</i> , <i>Dicksonia magnifica</i>	Сарыдиирменская свита		Сарыдиирменская свита							Сарыдиир-менский	Мангышлакская																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
					Слои с <i>Neoraistrickia rotundiformis</i> , <i>Stereisporites incertus</i> , <i>Sphagnum regium</i>	Базарлинская свита	60 м	85 м																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							</

табл. 1). Опорными разрезами горизонта, наиболее полно изученными и палеофлористически охарактеризованными, являются стратотипические разрезы кокалинской (гора Кокала), тонашинской (гора Тонаша), карадиирменской и базарлинской (гора Карадиирмень, овраг Базарли) свит, а также разрезы у колодцев Чирчиль, Шаир, в урочище Кугусем и в оврагах Желенды. Для Южного Мангышлака к опорным относятся разрезы скважин на площадях Узень (скв. Г-80, 735—1279 м; скв. Г-85, 1716—1719 м; скв. Г-110, 1530—1798 м) и Асар (скв. 4, 1695—2140 м). Мощность горизонта около 600 м.

По сравнению с эргозинским мангышлакский горизонт наиболее распространен. В полном объеме он вскрыт скважинами Южного Мангышлака и Устюрта, где несогласно перекрывает эргозинский горизонт. В восточных районах Мангышлака (колодец Огуз, гора Карамая, урочище Кугусем) разные слои горизонта непосредственно залегают на породах пермо-триаса. Он представлен песчано-глинистыми разностями, пестрыми глинами с прослоями песчаников, углей, аллювиальными песчаниками с линзами тонкопереслаивающихся глин, алевролитов, песчаников. Верхняя граница горизонта проводится нами не по кровле карадиирменской свиты, как предлагалось ранее [5], а выше слоя линзовидных прибрежных массивных песчаников, местами с тонкопереслаивающимися глинами и алевролитами, содержащих в разрезах Горного Мангышлака остатки аммонитов из родов *Parkinsonia* и *Rarecostites* [2, 11]. Эта часть разреза в западных и восточных районах Каратау выделяется в базарлинскую свиту [4, 7]. На Казахстанском совещании по стратиграфии базарлинская свита в других районах Мангышлака была объединена с сарыдиирменской (см. табл. 1). Изменение объема горизонта обусловлено тем, что из базарлинской свиты, лишенной макроостатков растений, был получен спорово-пыльцевой комплекс, идентичный комплексу из подстилающих пород карадиирменской свиты [10].

Мангышлакская стратофлора по доминирующим формам в составе флористического комплекса значительно

отличается от эргозинской, представляющей собой следующий этап в развитии палеофлоры Закаспия. В отличие от эргозинской, в мангышлакской флоре преобладают макроостатки растений в основании горизонтов, а не в верхней части. В мангышлакской флоре выделяются слои с *Clathropteris* *obovata* f. *magna*, *Coniopteris* *nerifolia*, *Otozamites* *cingulatus*, охарактеризованные чирчильским фитостратиграфическим комплексом. Особенностью последнего является сочетание таких форм, как *Equisetites* *ketovae* Burak., *Clathropteris* *obovata* Oishi f. *magna* (S. G. Ket., *Phlebopteris* *polypodioides* Schimp.) Horm. et Hirm., *Pagiophyllum* *tonaschensis* Kiritch., *Coniopteris* *nerifolia* Genk., *C. fursinii* Prym., *Lobifolia* *kaluginii* Kiritch., *Pachypteris* sp., *Otozamites* *cingulatus* (Burak.) Kiritch., *Nilssonia* *comptula* Heer, *Czekanowskia* *blendensis* Kiritch. et Samuil. признаков локального эндемизма. Кроме того, встречаются редкие *Nilssonia* и другие виды *Pseudotorellia* и *P. gracillima* Kiritch., *P. angustifolia* Nath. Слои с чирчильским комплексом четко прослеживаются в верхней песчано-глинистой пачке кокалинской свиты Западного (горы Кокала, Сары-Су, колодцы Чирчиль, Шаир) и Восточного (гора Тонаша, горы Каратау, урочище Кугусем) Мангышлака. Мощность слоев до 20 м. Палеофлористически эта часть разреза слабо охарактеризована.

В составе мангышлакской палеофлоры преобладают папоротники из рода *Clathropteris*, *Marattiopsis*, *Phlebopteris*, *Coniopteris*, *Eboracia*, многие виды кокалинской свиты Западного (горы Кокала, Сары-Су, колодцы Чирчиль, Шаир) и Восточного (гора Тонаша, горы Каратау, урочище Кугусем) Мангышлака. В составе мангышлакских тафофлор обычными становятся чекановские — *Czekanowskia* *kelendensis* Kiritch. et Samuil., *grybkovii* Kiritch. et Samuil., *Ginkgo* *fastuosa* Kiritch., *G. vasta* Kiritch., *G. aff. hui* (Sternb.) Black, *Baiera*, *Lepidopteris* *(L. papillifera* Kiritch. et Samuil.), а из хвойных — роды *Podocarpus* и *Ferganiella*. В составе палинокомплексов утрачивают свое значение диптериевые и матониевые папоротники, на первое место выходят мараттиевые, циатейные, птеридиевые, диксоптериевые [10].

Мангышлакский горизонт подразделяется нами на слои с флорой и фауной

Келендинский комплекс слоев с *Coniopteris* *margaretae*, *Anomozamites* *nilssoni* и *Otozamites* *cingulatus* обнаруживает сходство с чирчильским. В его составе присутствуют *Equisetites* *lateralis* (Phill.) Phill., *Coniopteris* *nerifolia* Genk., *Otozamites* *cingulatus* (Burak.) Kiritch., *Pagiophyllum* *setosum* (Phill.) Sew. Но тафофлора келендинских слоев отличается большим видовым разнообразием и появлением ряда форм, не встречающихся в чирчильских тафофлорах. Это *Coniopteris* *simplex* (Phill.) Sew., *C. minusculus* Kiritch., *C. margaretae* Harris, *Eboracia* *lobifolia* (Phill.) Thom., *Cladophlebis* *haiburnensis* (Brongn.) Sew., *Ptilophyllum* *ketovae* Kiritch., *Nilssonia* *gracillima* Prym., *N. inoyei* Yok., *N. acuminata* Heer., род *Pseudoctenis*, *Leptotoma* *papillifera* Kiritch. et Samuil., *Ginkgo* *fastuosa* Kiritch., *Pseudotorellia* *gracilis* Kiritch., то или иное сочетание которых присуще только келендинским тафофлорам.

По данным спорово-пыльцевого анализа из этой же части разреза получены два палинокомплекса — тонашинский и караширмауский, характеризующие слои с *Ginkgoales*, *Cycadales*, *Marattisporites* *scabratus* и слои с *Cyathidites* *australis*, *Microlepidites* *crassirimosus*, *Leiotriletes* *karatauensis*. В слои с тонашинским палинокомплексом объединены верхнетонашинская подсвита тонашинской свиты и самые низы (около 15 м) нижней пачки карадиирменской. Слои четко обособлены по характерному для палинокомплекса наибольшему содержанию гинкговых и цикадовых, а также *Marattisporites* *scabratus* Couper и *Leiotriletes* *corrugatus* Men sh. в разрезах горы Тонаша, Карамая и скважин Южного и Восточного Мангышлака. Мощность слоев 60 м.

Слои с караширмауским палинокомплексом выделены в объеме средней части (25 м) нижней углисто-песчано-глинистой пачки карадиирменской свиты горы Карадиирмень, ее выходов в пределах Горного Мангышлака и Устюрта [10]. Мощность слоев около 30 м. Караширмауский палинокомплекс, отличаясь от тонашинского по набору доминирующих

тельном количестве и разнообразии папоротники рода *Dicksonia*, появляется род *Gleichenia*, максимального расцвета достигают *Cyathidites minor* Couper, *Hemitelia parva* (Dör.) Timosh., *Classopollis classoides* Pfl., *C. sp. sp.*

Наиболее детально горизонт охарактеризован палинологически. Установленные из его отложений два палинокомплекса — сарыдиирменский и карамаинский — послужили основой для расчленения горизонта на соответствующие слои. Слои с *Cyathidites*, *Classopollis classoides*, *Dicksonia magnifica* выделены в верхней половине сарыдиирменской свиты (см. табл. 1) и прослежены в разрезах горы Сарыдиирмень, близ пос. Шетпе, горы Тонаша, в скважинах Южного Мангышлака и Северного Устюрта [10]. Мощность слоев 85—100 м.

Палинокомплекс слоев с *Classopollis*, названный карамаинским, происходит из чагабулакской свиты, развитой в Каратау (горы Сарыдиирмень, Карамая) и вскрытой скважинами на Южном и Восточном Мангышлаке. Мощность слоев в Каратау до 30 м, на остальной территории Мангышлака до 200 м. Для палинокомплекса характерно максимальное содержание пыльцы *Classopollis*, небольшое количество *Cyathidites* sp. sp., *Microlepidites crassirimosus* Timosh., *Hemitelia parva* (Dör.) Timosh., *Camptotriletes cerebriiformis* Naum. ex Jarosh., *Gleichenia angulata* (Bolch.) Naum.

Слоям с сарыдиирменским палинокомплексом соответствуют слои с *Equisetites beanii*, *Coniopteris vialovae*, *Pagiophyllum setosum*, выделенные в нижней половине горизонта по макроостаткам растений. Слои широко распространены. Они прослежены во всех разрезах сарыдиирменской свиты Горного Мангышлака (гора Сарыдиирмень, пос. Жамансауран, колодец Огуз, горы Карамая, Тонаша, урочище Кугусем), в скважинах Южного Мангышлака и Устюрта (площади Николаевская, Шалобай, Жетыбай). В составе сарыдиирменских тафофлор присутствуют крупнотельные *Equisetites beanii* (Vund.) Sew., папоротники *Coniopteris vialovae* Tur.-Ket., *C. simplex* (L. et H.) Harris, *Marattiopsis hoerensis* (Schimp.) Thom.,

крупнолистные *Sagenopteris*, род *Pagiophyllum*. Верхняя половина горизонта, представленная морскими отложениями чагабулакской свиты, макроостатков растений не содержит.

Возраст сарыдиирменско-карамаинского горизонта (бат—келловей—оксфорд) четко контролируется морской фауной позднего байоса—начала раннего бата, найденной в подстилающих отложениях базарлинской свиты (вехи мангышлакского горизонта), и фауной раннего—среднего бата, обнаруженной в морских прослоях сарыдиирменской свиты Каратау. Верхняя часть горизонта — чагабулакская свита — Каратау и на Южном Мангышлаке детально охарактеризована фауной келловей и оксфорда [2, 6, 11].

Таким образом, выявленные этапы в развитии палеофлоры Мангышлака позволяют не только обосновать выделенные фитостратоны, но и провести межрегиональную корреляцию континентальных толщ, литологически выдержанных по простиранию в пределах территории распространения палеофлоры единой фитоцории. Реперными уровнями для Закаспийской палеофлористической подпровинции явились сарыдиирменские слои на Мангышлаке и слои с *Equisetites beanii*, *Coniopteris vialovae*, *Pagiophyllum setosum* таскудукской и койкаринской свиты Прикаспийской впадины (табл. 2). Возраст реперов в обоих случаях контролируется фауной, присутствующей в отдельных прослоях прибрежно-морских толщ [1, 2, 11]. Близки по систематическому составу и фитостратиграфические комплексы, характеризующие эти уровни. Все это делает практически изохронными для Закаспийской подпровинции. Объем слоев *Marattiopsis angustifolia*, *Coniopteris furssenkoi*, *Nilssonsonia vittaeformis*, выделенных в верхней части кулсаринской и жолдыбайской свиты Южно-Эрбинского района Прикаспийской впадины, несколько превышает таковой карадиирменских слоев Мангышлака, выделенных по макроостаткам растений. С другой стороны, он почти соответствует объему, установленному палинологическим данным. Но в том другом случаях по систематическому составу комплексы растений очень близки. Впервые удалось обосновать

Межрегиональная фитостратиграфическая корреляция юрских континентальных отложений Мангышлака и Прикаспия

Отдел	Ярус	Подъярус	Горизонт	Мангышлак				Прикаспий					
				Слой с аммонитами	Слой с фораминиферами	Палинологические комплексы	Комплексы макроостатков растений	Слой по макроостаткам растений	Слой с палинофлорой	Слой с фораминиферами	Слой с аммонитами		
Верхний	Келловей, оксфорд			Морские осадки (зоны и слои по аммонитам и фораминиферам)		Карамаинский						Морские осадки (зоны и слои по аммонитам и фораминиферам)	
	Бат				Слой с <i>Ammodiscus baticus</i>		Сарыдирменский		Слой с <i>Equisetites bearii</i> , <i>Coniopteris vialovae</i> , <i>Pagiophyllum setosum</i>	Слой с <i>Cyathidites</i> , <i>Classopolis classoides</i> , <i>Dicksonia magnifica</i>	Слой с <i>Ammodiscus baticus</i>		
Средний	Байос			Слой с <i>Parkinsonia balakhanensis</i> , <i>Rarecostites</i>		Тушбекский		Карадирменский	Слой с <i>Marattiopsis angustifolia</i> , <i>Coniopteris fursenkoi</i> , <i>Nilssonsonia vittaeformis</i>	Слой с <i>Neoraitrickia rotundifolmis</i> , <i>Stereisporites incertus</i> , <i>Sphagnum regium</i>	Слой с <i>Lenticulina volganica</i> , <i>Planularia dainae</i>	Слой с <i>Pseudocostoceras nicholskii</i> , <i>Parkinsonia parkinsonii</i>	
Нижний	Агаен	Верхний	Мангышлакский			Карашим-рауский		Келдинский	Слой с <i>Coniopteris nerifolia</i> , <i>Anomozamites nilssonni</i>	Слой с <i>Cyathidites australis</i> , <i>Microlepidites crassirimosus</i>			
													Тонашинский
Нижний			Эрбинский			Кокалинский							
													Жагинский

корреляцию верхней половины тонашинской свиты, содержащей келендинский комплекс Мангышлака, со слоями с *Coniopteris nerifolia*, *Anomozamites nilssonii*, *Czekanowskia kazachstanica* Прикаспия [1] и более уверенно говорить об их ааленском возрасте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранова З. Е., Киричкова А. И., Зауер В. В. Стратиграфия и флора юрских отложений востока Прикаспийской впадины. — Л.: Недра, 1975.
2. Безносков Н. В. О возрасте и номенклатуре юрских свит Восточного Предкавказья и сопоставление их с одновозрастными свитами Мангышлака и Туаркыра. // Новые данные по стратиграфии мезокайнозоя Средней Азии. М., 1972. Вып. 114. С. 3—17. (Тр. ВНИГНИ).
3. Вахрамеев В. А. Юрские и раннемеловые флоры Евразии и палеофлористические провинции этого времени. — М.: Наука, 1964.
4. Калугин А. К., Киричкова А. И. К стратиграфии юрской континентальной толщи Мангышлака. // Бюллетень научно-технической информации. Сер. геология месторождений полезных ископаемых, региональная геология. 1968. № 19. С. 15—23.
5. Киричкова А. И. Современная таксономия ископаемых растений и палеофлористические сукцессии — основа детальных стратиграфических исследований. // Стратиграфия триасовых и юрских отложений нефтегазоносных бассейнов СССР. Л., 1973. С. 95—114. (Тр. ВНИГРИ).
6. Новые данные по стратиграфии юрских отложений Мангышлака. А. А. Савельев, А. К. Калугин, А. Я. Азбель и др. // Новые данные по геологии и нефтегазоносности Мангышлака. Л., 1973. Вып. 344. С. 19—23. (Тр. ВНИГРИ).
7. Постановление Межведомственного стратиграфического комитета и материалы его постоянных комиссий. — Л.: ВСЕГЕИ, 1973.
8. Просвирикова З. П. Юрская флора Мангышлака и ее значение для стратиграфии. М.-Л.: Наука, 1966.
9. Тимошина Н. А., Меньшикова Н. Я. Современное значение палинологии для стратиграфии, корреляции разнофациальных отложений и палеогеографических реконструкций (по результатам изучения микрофитофоссилий из юрских отложений Восточного Прикаспия). // Микрофитофоссилии нефтяной геологии. Л., 1980. С. 22—23. (Тр. ВНИГРИ).
10. Тимошина Н. А., Меньшикова Н. Я. Новые данные по палинотрагифии юрских отложений Мангышлака. // Сов. геология. 1985. № 4. С. 71—80.
11. Юра юга СССР. Отв. ред. В. А. Бененсон. М.: Наука, 1983.

Принята редколлегией 26 сентября 1988 г.



МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 552.164

Л. Ф. МИШИН (Институт тектоники и геофизики ДВО АН СССР)

Структурное картирование вулcano-плутонических комплексов

Структурность геологических карт может быть достигнута за счет детальной расчленения пород и максимального насыщения карт структурными элементами. Методика расчленения и картирования покровных вулканических фаций не требует специальных приемов. Необходимо лишь адекватное отображение на карте реальных геологических тел (отдельных потоков, покровов, слоев, пачек и др.), которые по структурным, петрографическим и фациальным признакам объединяются в толщи местного значения, соответствующие по объему отдельным или нескольким сближенным однотипным вулканическим постройкам. Структурно-

стратиграфические подразделения более высокого ранга (ярусы, серии, комплексы, формации и т. д.) выделяются по признакам, сквозным для серии слоев [2]. Основы фациального анализа, применительно к покровным фациям, изложены в работах Е. Ф. Малева. Менее разработана методика фациального расчленения и картирования субвулканических образований широко распространенных в палеовулканических областях и слагающих иногда огромные массивы, сопоставимые с гранитоидными плутонами.

Субвулканические породы различаются по текстурно-структурным особенностям, степени кристалличности

основной массы и другим признакам, обычно изменяющимся от контактов к центру массивов и сверху вниз. При этом большинство фаций имеют сквозное распространение, с глубиной могут меняться их мощности и исчезать крайние члены фациального ряда. Выявление и отображение на картах фациальных разновидностей пород обеспечивают достаточно высокую информативность карт даже при отсутствии замеров ориентировок. Устанавливаются прикорневые, прикровлевые части субинтрузивов и выступы подошвы в пологозалегающих телах. Часть фаций можно выделить уже в полевых условиях, но, как правило, в целом фациальный состав пород и направленность чередования фаций определяются лишь с накоплением опыта, а чаще всего после просмотра шлифов. Нами применяется методика отбора образцов с регулярным шагом, который обуславливается конкретной обстановкой и характером решаемых задач. Регулярное опробование осуществляется по маршрутам от контактов к центру массива и снизу вверх на участках с максимальными относительными превышениями. Коллекция образцов, собранная по такой методике, может быть использована как для петрографических, так и для петрогеохимических и петрофизических исследований.

Обычно уже при предварительном просмотре шлифов удается выделить основные петрографические разновидности пород и установить признаки, позволяющие провести наиболее подробное и однозначное фациальное расчленение. Далее остается проследить распределение этих фаций по всей площади выходов исследуемого объекта. Чем больше выделено фаций, тем структурнее карта, тем рельефнее вырисовываются внутреннее строение и морфология изучаемого субинтрузива. Задача фациального анализа упрощается, если существуют готовые модельные представления.

Субвулканические образования кислого состава подразделяются на два контрастирующих петрографических и морфологических типа [2]. Субинтрузивные породы первого типа слагают небольшие в плане тела блоковой формы (сочетание вертикальных контактов с горизонтальной подошвой и кров-

лей) площадью до 5 км², чаще 0,5—1 км², нередко образующие мозаичные скопления диаметром до 15 км. Они представлены преимущественно афировыми тонкоплитчатыми флюидальными (нередко ленточно-флюидальными) породами дацит-липаритового состава. Типоморфные особенности пород — отсутствие ксенолитов и протоклаза вкрапленников. В сторону контакта породы становятся пористыми сферолитовыми, а затем сменяются массивными обсидианами и перлитами или полосчато перемежающимися обсидиановыми и перлит-пемзовыми брекчиями. Отдельные небольшие тела целиком сложены полосчато чередующимися перлитами, обсидианами, витробрекчиями и перлит-пемзовыми брекчиями. В целом данная зональность близка зональности экзотрузий (О. Н. Волюнец, 1973) и липаритовых потоков (В. С. Коптев-Дворников, Е. Б. Яковлева, М. А. Петрова, 1967). Этот тип субинтрузивов обычно маркирует рудно-магматические системы с золото-серебряным оруденением.

Субвулканические интрузии второго типа сложены игнимбритоподобными породами, образующими крупные (площадью до 1800 км²) массивы, сопоставимые по размерам с батолитами гранитоидов. Типоморфные особенности пород — протоклаз и коррозия вкрапленников, наличие ксенолитов. От контактов к центру массивов выделяются фации приподошвенных и водораздельных (прикровлевых) игнимбритов — стекловатых пород с типично игнимбритовыми структурами основной массы; флюидальных и массивных пород с фельзитовыми до микрогранитовых структурами раскристаллизации основной массы; полнокристаллических, чаще порфировидных, пород. Подобного типа субинтрузии широко распространены во внутриматериковых вулканических зонах восточной части СССР, где они маркируют оловоносные рудно-магматические системы.

Предлагаемая методика выявления структурных элементов применима как для покровных, так и для субвулканических пород. Как правило, при геологической съемке, кроме слоистости и контактов, отмечаются ориентировка флюидальности и фьямме, т. е. плоскостные элементы, наблюдаемые в об-

нажениях. Однако это удается далеко не всегда, хотя известно, что трудно найти породу вулканического облика, в который бы в шлифах под микроскопом не просматривались структуры течения.

Описываемая методика позволяет определять макроскопические и микроскопические структурные элементы. При этом наряду с плоскостной ориентировкой определяются линейность и азимут движения расплава. В этом ряду признаков информативность растет к третьему структурному элементу. В таком же соотношении находится трудоемкость их получения. Вследствие этого технологический процесс разбивается на ряд все усложняющихся этапов.

1. Тщательно изучаются коренные выходы для выявления плоскостной и линейной ориентировок; отбираются ориентированные образцы.

2. В полевых условиях после смачивания водой ориентированные образцы подвергаются более тщательному исследованию под лупой или биноклем, при этом в них очень часто удается обнаружить ориентированные текстуры, которые были не видны в обнажении.

3. Наиболее ровные поверхности защищаются на кругу или алмазным диском, неровные — обрезаются. При хорошем освещении и большом увеличении порода на таких поверхностях (после их смачивания) просматривается на толщину 1—2 мм и выявляются даже микроструктурные неоднородности. Этапы 2 и 3 просты и тривиальны, но они при минимуме затрат позволяют получить значительное количество информации и применимы к любым породам.

4. Если ориентировка не обнаружена, то изготавливаются два ориентированных шлифа, желательно под углом 90° друг к другу. В них по следам флюиальности с помощью стереографической сетки определяется плоскостная ориентировка.

5. Из образцов с известной плоскостной ориентировкой изготавливаются шлифы, параллельные ей, и по удлиненным включениям замеряют линейность.

6. Из образцов с известной плоскостной и линейной ориентировками из-

готавливают шлифы, параллельные линейности и перпендикулярные плоскостной ориентировке. Они используются для определения вектора, показывающего направление течения магмы.

Физической основой для определения вектора служит тот факт, что движущемся потоке на включения действуют ротационные силы и крупные включения препятствуют перемещению более мелких, при этом в породе возникают структурные неоднородности, которые прямо или косвенно указывают на направление течения. Часть таких признаков указана в работах В. Елстона, Дж. Смита (1970), Дж. Смита, С. Роудса (1972). Этими авторами отмеченные признаки (рис. 1) были проверены при определении направления течения потоков на объектах с известными центрами извержений и получены хорошие результаты как по игнимбрикам, так и по лавам. Однако используемые ими признаки требуют статистического подхода, что делает методику весьма трудоемкой. Наиболее приемлем метод определения направления течения по ориентировке включений и структурному рисунку флюиальности. В флюиальных породах последняя образует микроплойчатость типа складок волочения (см. рис. 1), по S- и Z-образным рисункам которой легко установить соответственно левый и правый сдвиг, определяющий при известном положении кровли направление течения расплава.

Другим прямым признаком для определения векторов являются сопряженные около включений антиклинальные и синклиналильные микроскладки флюиальных полос, свидетельствующие о вращении включений в направлении течения. С вращением включений связаны также ступенчатый флексуриобразный рисунок флюиальности, напоминающий хвостовые оперения, и характер сланцеватости вокруг порфирокластов в милонитах [5]. Вращение включений происходит в направлении от опущенной ступеньки к поднятой, так же ориентирован вектор движения расплава.

Более универсальный признак для определения вектора — ориентировка удлиненных вкрапленников, часто образующих с флюиальностью и векто-

рис. 1. Структурные признаки, указывающие направление движения магмы:

прямые признаки: 1 — вильчатый удлиненный обломок стекла, 2 — изометричный вильчатый обломок, 3 — веретенообразное включение, 4 — блокировка мелких вкрапленников более крупными, 5 — внедрение сколочатого вкрапленника в размягченную пемзу, 6 — чешуирование включений, 7 — деформация биогита около более массивных и жестких минералов; косвенные признаки: 8 — микроскладки волочения флюиальности, 9 — сопряженные антиклинальная и синклиналильная складки, указывающие на вращение вкрапленника по часовой стрелке, 10 — ступенчатый рисунок флюиальных полос около включений, 11 — наклон в зависимости от габитуса наклон вкрапленников в направлении течения, 12 — фиксированный наклон вкрапленников и сопряженные трещины вязкого разрыва, 13 — ориентировка зерен разного габитуса и ступенчатый рисунок флюиальности; 14 — в игнимбриках, по [8], 7—13 — зарисовки с фотографий.

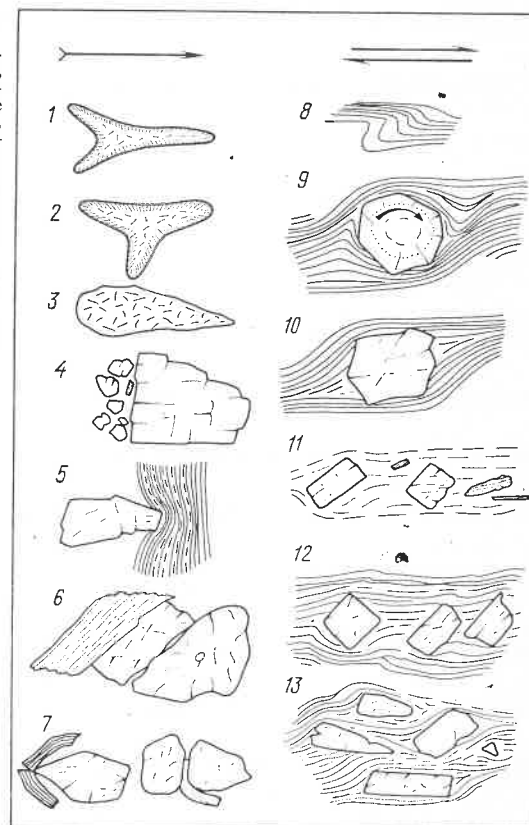
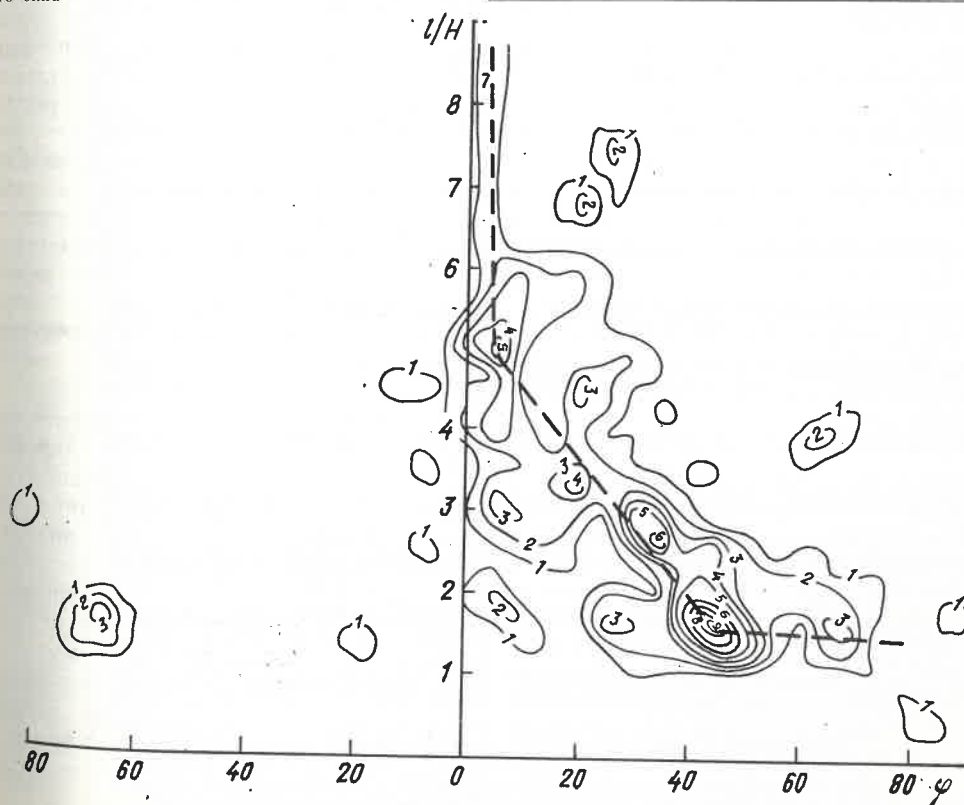


рис. 2. График изменения наклона вкрапленников по отношению к флюиальности в зависимости от их габитуса:

L/H — отношение длинной оси вкрапленников к короткой; Φ — угол наклона вкрапленников относительно края шлифа, близко совпадающего с флюиальностью; изолинии проведены методом скользящего окна.



ром движения расплава острый угол. Этот угол, когда скорость движения постоянная, т. е. в одном образце или в одном шлифе, находится по соотношению длинной и короткой осей вкрапленников (см. рис. 1). На графике (рис. 2) в качестве примера приведены результаты массовых замеров ориентировки вкрапленников в шлифе (см. рис. 1), подтверждающие, что основное количество (90 %) удлиненных зерен лежит не в плоскости флюиальности, а наклонно к ней, под острым углом, значение которого коррелируется с удлинением зерен. В целом распределение точек асимптотическое с двумя точками перегиба. Верхняя точка, соответствующая удлинению 5:1, показывает, что все зерна такого габитуса и более вытянутые имеют одинаковую ориентировку, параллельную флюиальности. Нижняя точка, соответствующая удлинению 2:1, показывает, что зерна с таким габитусом и более короткостолбчатые (замеры не вынесены) теряют равновесное состояние и, видимо, начинают вращаться.

В отдельных случаях (см. рис. 1) вкрапленники независимо от габитуса длинной осью или хорошо выраженной гранью ориентируются по отношению к флюиальности и вектору строго под углом 45°. Нередко в шлифах с такой ориентировкой вкрапленников наблюдаются «трещины» вязкого разрыва — прямые линии, вдоль которых флюиальность образует тончайшие складки. «Трещины» также ориентированы под углом 45° к вектору течения.

Теоретически обосновать выявленные закономерности в ориентировке вкрапленников полностью не удалось. Структурный рисунок вулканических пород отражает заключительный этап движения расплава перед его затвердеванием и, можно предполагать, что пластические деформации в это время по своей природе близки процессу простого сдвига в вязкой среде. Применительно к милонитизированным породам порфирикластическая система изучена теоретически и экспериментально [3, 4, 5]. В условиях простого сдвига она описывается уравнением Джеффри

$$\gamma' = \gamma \frac{C^2 \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi}{C^2 + 1},$$

где γ' — угловая скорость; γ — ско-

рость простого сдвига; C — отношение длины к ширине порфирикласта; φ — угол между длинной осью порфирикласта и осью перпендикулярной плоскости сдвига.

Из формулы следует, что скорость вращения изометричных порфирикластов ($C=1$) равномерная, а удлиненных кластов — пульсирующая с минимальными значениями в положении, совпадающем с плоскостью сдвига, максимальными, когда порфирикласт длинной осью располагается перпендикулярно плоскости простого сдвига. В последнем случае система минимально устойчивая. Равновесное состояние, т. е. нулевая скорость вращения включений, согласно формуле Джеффри, не может быть достигнуто. С. К. Гош и Х. Ромберг [4] полагают, что равновесное положение может быть достигнуто при определенной комбинации простого и чистого сдвигов. Однако в этом случае порфирикласты длинной осью ориентируются под тупым углом к направлению простого сдвига, что явно противоречит полученным нами эмпирическим данным. Необходимо отметить, что и в порфирикластической системе удлиненные класты ориентируются чаще всего под острым углом к направлению простого сдвига [5]. Очевидно, модель застывающего потока к моменту ее останковки значительно сложнее. Скорее всего магма представляла собой упруговязкую среду с промежуточными свойствами между ньютоновской жидкостью и бингемовским телом. Подтверждением этому служат «трещины» вязкого разрыва, а также многовариантность ориентировок вкрапленников.

При определении вектора течения необходимо опираться на изолированные от основной массы включения, поскольку часто ориентировка вкрапленников, особенно разных по размерам, обуславливается не общим направлением течения, а локальными линиями тока, которые зависят от системы расположения включений. Поэтому в породах с вкрапленниковыми разностями (более 40 % вкрапленников) иногда сложно установить даже плоскостную ориентировку, не говоря об определении направления и вектора.

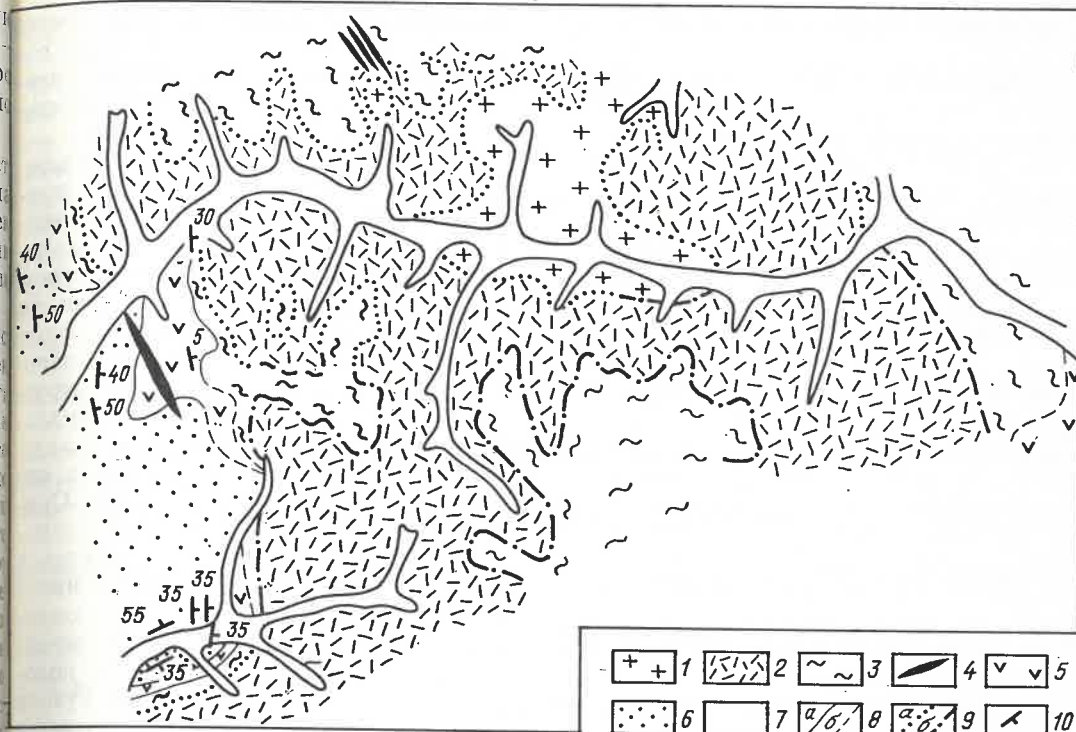


Рис. 3. Схематическая карта фаций Верхнеаллахского субинтрузива:

породы субинтрузива: 1 — гранодиориты, 2 — кристаллокластические и перегородчатые дациты, 3 — игнимбриты дацитов, 4 — дайки гранит-порфиров; 5 — вулканические породы Охотско-Чукотского вулканического пояса; 6 — песчано-сланцевые отложения

Верхоянского комплекса; 7 — четвертичные отложения; 8 — геологические границы резкостные: а — установленные, б — предполагаемые; 9 — геологические границы постепенные: а — установленные, б — предполагаемые; 10 — элементы залегания слоистости и контактов

Как показывает практика, предлагаемая методика довольно проста. Дополнительные затраты минимальные и связаны с увеличением количества шлифов (50—100 %) в сравнении с обычными съемками в масштабе 1:50 000. Методика разбивается на несколько автономных этапов и может быть использована в усеченном виде.

Автором методика использовалась главным образом для изучения субвулканических пород. Основными объектами были крупные субвулканические массивы, сложенные игнимбритами подобными породами, непременно присутствующими в оловоносных вулканических зонах Дальнего Востока. Наличие больших объемов однотипных пород, отсутствие ориентированных макроструктур определяют значительные трудности при их изучении и соответственно низкую информативность геологических карт. Не случайно, эти породы одни исследователи относят к

покровным, другие — экструзивным, третьи — субвулканическим фациям.

В качестве примера нами рассмотрено строение Верхнеаллахского субинтрузива, центральная часть которого закартирована на основе фациального анализа (рис. 3). Высокая кристалличность основной массы и обилие вкрапленников не позволили в должном объеме провести микроструктурные исследования. Субинтрузив (площадь 600 км²) располагается на западе Куйдусунского вулканогена Охотско-Чукотского вулканического пояса. Вмещающие породы представлены преимущественно терригенными образованиями верхоянского комплекса. Почти повсеместно в зоне контакта наблюдаются незначительной мощности выходы вулканических пород различного химического и фациального состава, которые, как и осадочные, имеют конформное контактам центри-

Массив сложен вулканическими породами дацитового состава с протоклазированными оскольчатой формы вкрапленниками (45—70 %). Степень протоклаза растет в сторону контактов. Эндоконтактные зоны интрузива (мощностью от 10 до 100 м) сложены стекловатыми породами с криптофельзитовой и фельзитовой раскристаллизацией основной массы и типично игнимбритовыми структурами. Аналогичными породами сложены водораздельные зоны массива (прикрывающая фация водораздельных игнимбритов). От контактов к центру и сверху вниз постепенно увеличивается кристалличность основной массы до образования микроаплитовых и микрогранитовых структур и одновременно уменьшается степень протоклаза вкрапленников. В центре массива на участках максимального вреза обнажаются мелкозернистые гранодиориты, участками порфириовидные, постепенно переходящие во вмещающие дациты. Переход осуществляется в зоне мощностью 50—100 м с формированием полнокристаллических порфириового строения пород с перегородчатыми структурами, характерными для мигматитов и метасоматитов. Макроскопически выделенные фации даже при наличии эталонов разделить не удается. Различаются только крайние члены фациального ряда. Ориентировка контактов и пространственное положение фаций однозначно указывают на то, что массив имеет форму лакколита с воронкообразной подошвой и горизонтальной кровлей. Выходы гранодиоритов и перегородчатых дацитов, по-видимому, трассируют его наиболее погруженную корневую зону.

Атарбайский субвулканический массив (площадь 200 км²) размещается на стыке Ульинского и Куйдусунского вулканогенов. По фациальному составу, морфологии и составу вмещающих пород он обнаруживает значительное сходство с Верхнеаллахским субинтрузивом. Здесь также выделяются фации приподошвенных и водораздельных игнимбритов, флюидалных и относительно массивных кристаллокластических дацитов, гранодиорит-порфиров. Последние образуют субгоризонтальную бескорневую залежь мощностью 100—300 м. С кристаллокластическими

дацитами гранодиориты имеют постепенные переходы; переходная зона перегородчатых дацитов составляет первые сантиметры, реже десятки сантиметров.

При изучении Атарбайского массива выполнен большой объем определений плоскостной ориентировки флюидалности. Проведено почти 100 замеров (при крупномасштабной геологической съемке не было получено ни одного замера), на основании которых еще более детализирована внутренняя структура субинтрузива. Общая окружающая в плане форма и центриклинальное залегание подошвы позволяют предполагать, что корневая зона расположена в центре структуры. Ориентировка же флюидалности показывает, что корневая зона находится в периферической части массива и имеет дуговую форму (возможно, кольцевую*), а к центру приурочено, по-видимому, куполовидное поднятие подошвы. Такое строение субинтрузива подтверждают особенности пространственного распределения фаций. В корневой зоне преобладают породы с более кристаллической основной массой, в центре — более стекловатые приконтактные фации, в том числе фация водораздельных игнимбритов, в которой установлена субгоризонтальная септа вмещающих субинтрузив вулканических пород протяженностью 2 км при мощности 50—100 м. В направлении центральной купола довольно резко выклинивается горизонтальная залежь гранодиорит-порфиров. Следует также отметить, что полной согласованности между фациальными границами и ориентировкой флюидалности нет. Возможно, это связано с тем, что границы постепенные и адекватной рисовке не поддаются или с тем, что между формированием фациальной обстановки и становлением структур течения существовал временной перерыв, обусловивший некоторую автономию этих процессов.

Определение линейности и векторов течения проводилось нами в чисто методических целях для отдельных образцов и небольших серий, преимущественно из покровных фаций. Напри-

* Структурными исследованиями не охвачен северный фланг массива.

мер, на Южной Камчатке между вулканом Горелый и Жировским палеовулканом в пределах игнимбритового плато на площади 15 км² отобрана серия из шести образцов. Ранее считалось, что центром извержения игнимбритов была кальдера вулкана Горелый. Для всех шести образцов нами получены векторы, показывающие направление течения с востока на запад, т. е. со стороны Жировского палеовулкана с азимутом 210—290°.

Применение рассмотренной методики резко повышает информативность геологических карт, делает обоснованными палеовулканологические реконструкции, повышает глубинность геологических исследований и эффективность крупномасштабных поисково-разведочных работ.

УДК 553.495

А. Д. КОНОПЛЕВ, М. Ф. МАКСИМОВА (Мингео СССР)

Литолого-фациальные и минералого-геохимические особенности месторождений в палеодолинах

Нами изучены литолого-фациальные и минералого-геохимические особенности месторождения, локализованного в отложениях погребенной эрозионной палеодолины среднеюрского — раннемелового возраста, на глубине 400—500 м (рис. 1). Палеодолина врезана в палеозойские известняки и сланцы, раннеюрские липариты и базальты, по которым развита кора выветривания позднеюрского — среднеюрского возраста (10—15 м). Аллювиальные сероцветные отложения палеодолины (мощностью 100 м) перекрываются первично-пестроцветной пачкой (до 80 м) континентальных раннемеловых пород, залегающих на большей площади. Выше по разрезу распространены континентальные и морские отложения позднеюрского — четвертичного возраста.

При изучении закономерностей сочетания литогенетических типов пород и их комплексов в вертикальном разрезе, фациальных взаимоотношений между ними, последовательного и одновременного сопоставления разрезов в отложениях палеодолины выделено три сменяющиеся в пространстве литогенетические ассоциации (см. рис. 1),

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишин Л. Ф. Принципы картирования и стратиграфического расчленения орогенных вулканических комплексов на примере центральной части Ульинского прогиба // Методы составления палеовулканологических карт. Новосибирск, 1979. С. 88—93.
2. Мишин Л. Ф. Тектурно-структурные и морфологические типы субвулканических интрузивов кислого состава // Глобальные палеовулканологические реконструкции и тектоника. Владивосток, 1982. С. 74—82.
3. Freeman B. The motion of rigid ellipsoidal particles in slow flows // Tectonophysics. 1985. Vol. 113. P. 163—183.
4. Ghosh S. K., Ramberg H. Reorientation of inclusions by combination of pure shear and simple shear // Tectonophysics. 1976. Vol. 34. № 1/2. P. 1—70.
5. Passchier C. W., Simpson C. Porphyroclast systems as kinematic indicators // Journal of structural Geology. 1986. Vol. 8. № 8. P. 831—843.

Принята редколлегией 28 марта 1988 г.

отвечающие определенным ландшафтно-климатическим обстановкам и тектоническому режиму: 1) сероцветные полимиктовые гравийно-песчано-глинистые аллювиальные отложения возвышенной холмистой равнины; 2) сероцветные олигомиктовые песчано-глинистые аллювиальные отложения холмистой равнины; 3) красноцветные мелкозернистые делювиально-озерные отложения слабохолмистой равнины.

Под палеодолиной и в ее обрамлении фундамент представлен липаритами (содержание урана $2 \cdot 10^{-3}$ — $4 \cdot 10^{-3}$ %), известняками, сланцами ($5 \cdot 10^{-4}$), базальтами ($3 \cdot 10^{-4}$ — $6 \cdot 10^{-4}$), по которым развита кора выветривания ранне-позднеюрского возраста с сохранившейся мощностью 10—20 м (позднеюрская эпоха корообразования, по Л. А. Гузовскому, 1971 и др.). Следовательно, заложению палеодолины предшествовал этап пенецинизации и корообразования, во время которого значительные массы минерального материала были подготовлены для переноса, и уран переведен из минералов-носителей в легкоподвижную форму. Такие факты, как отсутствие кор

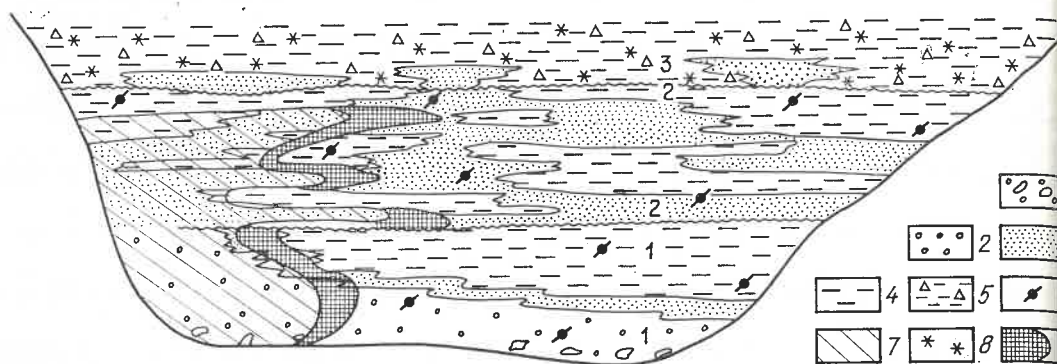


Рис. 1. Литологический разрез палеодолины:

1, 2, 3 — литологические ассоциации; отложения русла и прирусловой отмели: 1 — валунно-галечно-песчано-глинистые, 2 — галечно-песчано-глинистые, 3 — песчаные; 4 — глинистые отложения поймы и пойменных озер, 5 — несортированные красноцветные

глинисто-песчаные отложения делювия; 6 — сероцветные с углifiedированными растительными остатками; 7 — эпитетически измененные (обеленные) с реликтами окисления; 8 — первично-красноцветные; 9 — рудные тела

на возвышенностях, образование рельефа и разветвленная речная сеть под меловыми осадками свидетельствуют о том, что в средней — поздней юре произошла тектоническая активизация пенепленизированной территории, сопровождавшаяся малоамплитудными дифференцированными блоковыми перемещениями, в результате которых радиогеохимически специализированные породы фундамента оказались приподнятыми. Материал кор выветривания с приподнятых блоков поступал в развивавшуюся на возвышенной холмистой равнине палеодолину с V-образным поперечным профилем. В ней сформировалась 30-метровая толща перстративного аллювия, в которой наряду с определенным парагенезисом в вертикальном разрезе гравийно-песчаных отложений стержня, песчано-глинистых (прирусловой отмели) и глинистых (поймы) наблюдается фациальная смена одних другими на площади. Разрез завершают осадки заболоченных озер при резко подчиненной роли аллювия, что свидетельствует о дряхлении речной сети. Большое количество детрита и углifiedированных обломков древесины позволяет предположить широкое развитие растительности в условиях гумидного климата. Породы ассоциации 1 отличаются плохой сортировкой, слабой окатанностью обломочного материала, полимиктовым составом (при некотором преобладании кварца) отражающим состав пород фундамента в области сноса и

относятся к первичному черноцветному геохимическому типу с высоким содержанием органического углерода ($S_{орг}$ обычно 0,3—2 % и более), перманганатной окисляемостью более 1 мг/г O_2 , коэффициентом восстановления (Fe^{2+}/Fe^{3+}) — 3,2, большим количеством диагенетического пирита ($S_{сульфида}$ до 1,5 %).

Отложения литогенетической ассоциации 2 мощностью до 40 м формируются в более широкой долине трапецевидным асимметричным поперечным профилем (см. рис. 1). В сравнении с осадками ассоциации 1 они представлены констративным аллювием и имеют сложное литолого-фациальное строение, вследствие многократного чередования в разрезе русловых, пойменных, озерных и болотных отложений и частых фациальных переходов, что, вероятно, связано интенсивным меандрированием реки на холмистой равнине. Породы лучше сортировки, окатанности, с более мелкими размерами обломочного материала (по 2 мм, реже крупнее), с олигомиктностью. Песчаная и алевритовая фракции состоят в основном из кварца (60—90 %), часть которой имеет дипирамидальный облик, характерный для этого минерала в липаритах. Встречаются обломки кварца черного цвета из кремнисто-углеродистых сланцев, калиевого полевого шпата (5 до 9 %); плагиоклазы присутствуют в подчиненном количестве. Содержатся слюдястые минералы обычно

превышает 5 %, но на участках, где фундамент представлен сланцами, оно увеличивается. Все это подтверждает переотложение материала коры выветривания в палеодолину. Породы ассоциации 2 — сероцветные, относятся к первично черноцветному геохимическому типу ($S_{орг}$ 0,3—2 % и более, коэффициент восстановления 3, перманганатная окисляемость более 1 мг/г O_2 , большое количество диагенетического пирита). В пойменных и озерных глинах иногда встречаются первичные пестроцветы, в основном в верхах разреза ассоциации, что свидетельствует о постепенной смене теплого, умеренного влажного гумидного климата периодически засушливым, близким к семиаридному.

По минеральному составу породы ассоциаций 1 и 2 не различаются (за исключением преобладания кварца в породах ассоциации 2). Глинистые минералы представлены каолинитом, иногда с незначительной примесью гидрослюда или монтмориллонита; обломочная фракция — кварцем, обломками липаритов, сланцев и т. д. Выход фракции плотностью $>2,9$ составляет 0,5—1,6 % от веса сероцветных безрудных пород. Из рудных минералов преобладают лейкоксен и ильменит, а в качестве аксессуарных отмечены циркон, анатаз, гранат, турмалин, топаз, листен. Повышенных содержаний каких-либо элементов не отмечается. Встречается сидерит, дисульфиды железа. Количество железа в среднем, % — 1,4 (максимальное 2—5), урана — колеблется от 2 до $7,8 \cdot 10^{-4}$, составляя в среднем $5 \cdot 10^{-4}$. По данным осколковой радиографии, уран в цементе распределен равномерно, скопления трещинок наблюдаются над цирконом, пиритом, лейкоксеном, магнетитом, иногда над углестым детритом. Значение радиационных эффектов в кварце (S_E) колеблется от 1,4 до 10 отн. ед. (среднее 7,7).

Отложения литологической ассоциации 3 (делювиальные, пологих склонов водораздельных равнин) общей мощностью 80—100 м, выполняют обширное по площади понижение рельефа, в осевой части которого расположена речная долина, и перекрывают не только сероцветные аллювиальные осадки (без следов видимого перерыва), но и

породы фундамента с остатками коры выветривания (см. рис. 1). Ассоциация представлена первично пестроцветными мелкозернистыми, в основном красно-бурой окраски, несортированными, сильно глинистыми. Наряду с большим количеством реликтов корневой системы изредка встречается углестый детрит, вокруг которого образуются каемки восстановления. В начальный этап формирования отложений вместе с красноцветами накапливались и сероцветные осадки, но они быстро (через 10—20 м) исчезли вверх по разрезу. Возможно, часть минералов-красителей красноцветных пород образовалась в области сноса, в более древней по возрасту коре выветривания, так как наблюдаются обломки красноцветных пород. Однако более вероятно развитие минералов-красителей в основной массе пород в результате субаэрального окисления делювиально-озерных осадков. Почти весь обломочный материал каолинизирован (за исключением кварца), имеет четкие угловатые границы, свидетельствующие о том, что переносился он на небольшие расстояния. Красноцветы бескарбонатные или слабо карбонатные, обладают очень низкими восстановительными свойствами (коэффициент восстановления 0,05, перманганатная окисляемость значительно меньше — 1 мг/г O_2).

Отмеченные особенности позволяют предположить, что осадконакопление началось в условиях переходного климата (от гумидного к семиаридному), а завершалось в семиаридном. Содержание органического углерода — 2,2 до 3,6 % (в среднем 3 %) преобладающей формой является растворимое Fe^{3+} , составляющее примерно 80 % от общего. Основные минералы фракции плотностью $>2,9$ при ее выходе от 1,1 до 2,4 %: гематит, лимонит, в единичных зернах ильменит, лейкоксен, циркон и др. Количество урана — от 2 до $5 \cdot 10^{-4}$ %. S_E колеблется от 2,7 до 7 отн. ед. (в среднем 4,6).

Мощная толща сильно глинистых красноцветных осадков, перекрывшая как сероцветные отложения палеодолины, так и породы фундамента, является хорошим экраном, запечатавшим рудовмещающие отложения, но вследствие трансгрессивного характера ее

накопления грунтово-пластовые воды длительное время имели возможность поступать в палеодолину.

Рудоформирующие эпигенетические процессы. Они зафиксированы в виде контролирующей эпигенетической зональности. Основным здесь был процесс окисления — восстановления, проявленный преимущественно в хорошо проницаемых отложениях литогенетических ассоциаций 1 и 2. В эпигенетической зональности можно выделить зоны: I — бывшего окисления (обеления), II — восстановления (уранонакопления), III — вмещающих неизменных пород.

На описываемом месторождении нет афациальной зоны лимонитизации, типичной для классических инфильтрационных месторождений. Вместо нее наблюдается афациальная зона белесых пород с псевдоморфозами гидроксидов железа по пириту, марказиту, сидериту, другим железосодержащим минералам и редким углефицированным растительным остаткам, в которой почти полностью отсутствует органический углерод ($C_{орг}$ 0—0,1 %). Перманганатная окисляемость здесь 0,1—0,3 мг/г O_2 , коэффициент восстановления 2,05, что позволяет интерпретировать ее как былую зону лимонитизации, измененную в результате восстановительных условий по железу, обусловленных высоким содержанием $C_{орг}$ в сероцветных отложениях. Эпигенетически измененные породы распространяются в направлении от верховьев палеодолины к устью и от правого борта к центру. Наиболее широко они развиты во второй литогенетической ассоциации, проникая в первую там, где отсутствуют непроницаемые пойменно-озерные глины. Сложное литолого-фациальное строение отложений (особенно в ассоциации 2) предопределило и сложную морфологию зон окисления и границ их смены сероцветными породами.

Положение рудных тел контролируется выклиниванием белесых пород. Рудные тела имеют лентовидную, ролловидную форму и расположены обычно в хорошо проницаемых сероцветных осадках стрегня и прирусловой отмели. Однако крылья роллов часто отжимаются на 1—2 м в слабопрони-

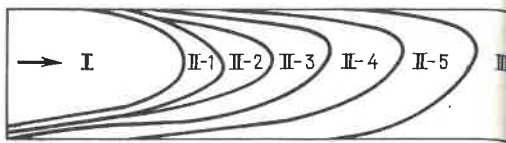


Рис. 2. Схема рудоконтролирующей эпигенетической зональности:

I — зона обеления (бывшего окисления); зона восстановления: II-1 — разрушающихся руд, II-2 — II-5 — формирующихся руд (II-2 — контрастных, II-3 — рядовых, II-4 — бедных, II-5 — ореольных концентраций); III — зона неизменных безрудных пород

цаемые пойменно-озерные отложения. Значительную роль в локализации оруденения играют границы различных литологических сред. На них формируется наиболее богатое оруденение с тенденцией смещения в более тонкозернистые породы.

Зона рудоформирующего восстановления (уранонакопления) подразделяется на подзоны: разрушающихся руд — выноса урана (II-1), формирующихся руд, среди которых выделяются контрастные (II-2), рядовые (II-3), бедные (II-4) и ореол рассеяния (II-5) (рис. 2). Подзона II-1 располагается у границ с белесыми породами, ее всегда можно зафиксировать. Окраска в пределах зоны восстановления изменяется от почти белесой до черно-серой в зависимости от количества углистого детрита и темноокрашенных новообразований (сульфиды железа, урановая, молибденовая минерализация, возможно сидерит). Эти отложения могут быть отнесены к углеродистому сульфидному минералого-геохимическому типу. Содержание $C_{орг}$ в них колеблется от 0,1 до 16 %, сульфидная форма железа составляет основную часть в общем балансе, за исключением ореола рассеяния урана.

Подзоны выноса урана и контрастных руд прослеживаются не повсеместно и имеют незначительную мощность. Последняя (II-2) располагается или вдоль контакта с зоной I, или образует маломощные полосы, линии среди рядовых руд (II-3), которые свою очередь, в одних случаях прослеживаются непосредственно у контакта с зоной I, в других отделены от подзоной выноса. Подзона II-4 иногда отличается повышенной мощностью. Ореол рассеяния соответствует замкнутой подзоне переходной к неизменным породам. Содержание урана здесь невысокое ($n \cdot 0,001$ %).

Каждая из выделенных подзон имеет свои минералого-геохимические особенности. Зона I в целом приурочена к породам с большим количеством углистого детрита и дисульфидов железа. Содержание $C_{орг}$ в песчаных породах составляет в среднем 0,7—2,9 %, возрастающая в углисто-песчаных — до 15—30 %. Органика представлена обломками детрита (от долей миллиметра до 1—2 см), реже гумусовым веществом. Количество $C_{орг}$, а также железа крайне неравномерно. Наиболее высоко содержание железа в контрастных и рядовых рудах (до 3 %). При переходе в другие подзоны оно постепенно снижается до 1,6 % (в бедных рудах), а в ореоле рассеяния приближается к концентрации в неизмененных сероцветных отложениях. Основная форма железа в общем балансе для подзоны формирующихся руд — сульфидная, %: в контрастных — 62, в бедных рудах — 45, в ореоле — 18. В последнем основной формой становится сумма двухвалентного растворимого и обломочного железа. Сульфидная форма железа — составная часть пирита и марказита, которые широко распространены на месторождении и представлены несколькими генерациями, в том числе эпигенетического синрудного пирита (мелкозернистая и глобулярная разновидность). Помимо дисульфидов железа преимущественно в контрастных и рядовых рудах присутствуют эпигенетические минералы — иордизит, сфалерит, ферроселит, реже молибденит, бравоит, сидерит, самородный селен и др. Урановая минерализация представлена, как правило, оксидами урана и коффинита, распределена в руде крайне неравномерно, особенно в бедных рудах и в ореоле. Часть ее тонко рассеяна в каолинистом цементе пород, часть сконцентрирована вокруг и внутри скоплений дисульфидов железа и углистых остатков. Характерна тесная ассоциация минералов урана, особенно оксидов, с дисульфидами железа, иордизитом, сфалеритом.

О возрастных взаимоотношениях минералов судить трудно в силу тонкодисперсного характера их выделений и динамичности процесса. В отдельных случаях установлено, что оксиды урана одновременно со сфалеритом и не-

которыми разновидностями пирита, но есть пирит и более поздний, чем настуран. Чаще пирит, марказит, сидерит являются более ранними по сравнению с настураном. В одном случае наблюдались мелкие выделения настурана на кристалле ферроселита. C_E из различных подзон в среднем закономерно уменьшается от контрастных руд к ореолу рассеяния. По сравнению с сероцветными безрудными отложениями C_E из контрастных руд больше в 12 раз (до 120 отн. ед.), в рядовых — в 6, в бедных и ореоле рассеяния — в 3 и 2 соответственно.

Уран в руде шестивалентный и четырехвалентный в различных соотношениях, чаще с преобладанием последнего. В связи с этим значение кислородного коэффициента колеблется от 2,06 до 2,69, причем в профиле эпигенетической зональности намечается постепенное его увеличение от подзоны контрастных руд к ореолу рассеяния. Так, в контрастных рудах он равен 2,19, в рядовых — 2,37, в бедных — 2,45, в ореоле рассеяния — 2,69, т. е. в относительно более молодых бедных рудах кислородный коэффициент выше, чем в рудах, расположенных вблизи границы окисления.

Оруденение на месторождении сопровождается совокупностью элементов-спутников: Se, Re, Mo, Zn, V, Ni, Co и др. Распределены они неравномерно, средние содержания повышены лишь у первых трех элементов, а также у ванадия и цинка в контрастных рудах. Наиболее широкий круг элементов-спутников и наиболее высокие их содержание свойственны подзонам контрастных и рядовых руд. В последующих подзонах количество элементов и их концентрации уменьшаются. В случае чередования сероцветных пород с белесыми, такое же чередование наблюдается и в распределении элементов.

Проследим за распределением основных элементов-спутников (рис. 3). Количество Re, Mo, Se, Zn во вмещающих сероцветных породах близки к кларковому, в то время, как в зоне уранонакопления они явно повышены. Среднее содержание рения в подзоне контрастных руд достигает 3,1 отн. ед., рядовых руд — 0,755, бедных руд — 0,13, в ореоле рассеяния — 0,021. Низ-

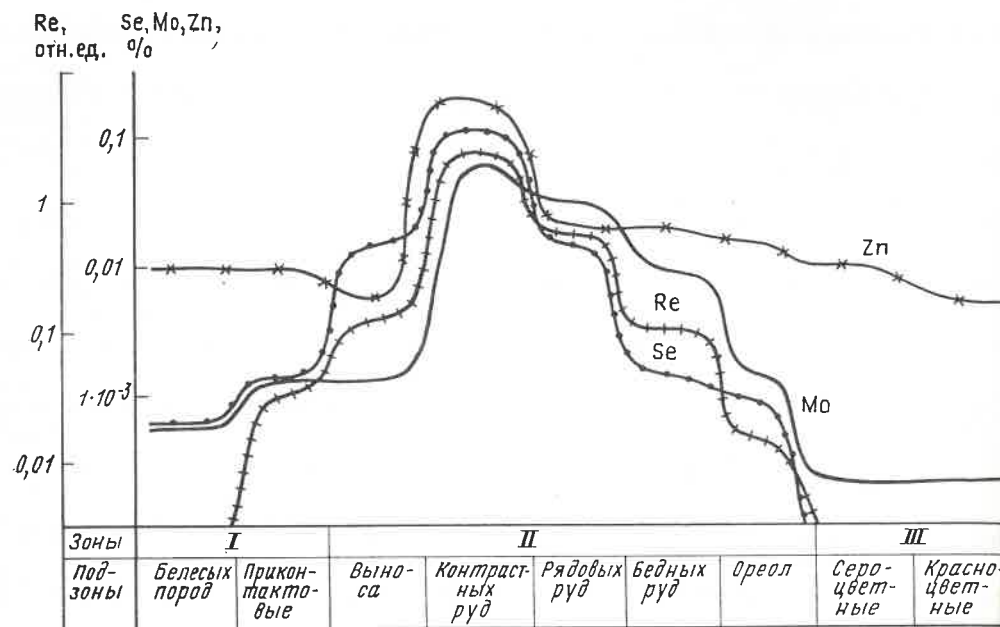


Рис. 3. Распределение Se, Mo, Re, Zn в профиле эпигенетической зональности

кие коэффициенты корреляции (0,12 и 0,17) свидетельствуют об отсутствии корреляционной связи рения с молибденом и ураном. Соответствующее снижение содержания от подзоны контрастных руд к ореолу рассеяния наблюдается и для других элементов (см. рис. 3). Так, наиболее высокое среднее значение молибдена (%) — 0,076 (в контрастных рудах), затем оно снижается до 0,048 (в рядовых рудах) и до 0,014 (в бедных рудах), а в ореолах рассеяния оно почти не превышает кларковых значений (0,002). В подзоне выноса количество элементов несколько ниже, чем в подзонах контрастных и рядовых руд.

Наличие селеновой минерализации является одним из типоморфных признаков инфильтрационных месторождений. Обычно она локализуется вблизи границы выклинивания зон окисления, совмещаясь в основном с урановорудными залежами, с некоторым смещением в сторону окисленных пород, так как селен выпадает несколько раньше урана. Максимальное содержание селена (1,35 %) на описываемом месторождении приурочены к контрастным рудам. Высокие концентрации (до 0,15 %) отмечаются также в подзонах выноса и рядовых руд. Среднее содержание селена в подзоне выноса

составляет (%) — 0,02, в контрастных рудах — 0,11, в рядовых рудах — 0,02. Повышения его в бедных рудах ореоле рассеяния встречаются лишь в тех случаях, когда они расположены вблизи с выклиниванием белесых пород. Среднее содержание цинка (0,12 %) также отмечается в подзоне контрастных руд. Анализ распределения некоторых других элементов (например титана) не выявил какой-либо закономерности по сравнению с безрудными породами.

Пострудные эпигенетические процессы. На рассматриваемом месторождении к эпигенетическим минералам, образованным в восстановительных условиях, относятся минералы как рудоформирующего процесса, так и более позднего пострудного. Это, в первую очередь, сидерит в осветленных породах (от диагенетического и рудогенетического отличается морфологией и частично элементами-примесями).

Пострудные восстановительные процессы привели к восстановлению оксидов железа в зоне окисления. В результате чего, как было отмечено выше, оруденение на месторождении контролируется границей выклинивания не лимонитизированных, а белесых восстановленных пород.

Зона обеленных пород распространена в отложениях всех трех литогенетических ассоциаций, в хорошо проницаемых осадках стрессия и прирусловой отмели, захватывая на небольшую мощность контактирующие с ними слабопроницаемые породы поймы. В отложениях третьей ассоциации почти все проницаемые породы белесые, во второй — последние распространены очень широко, а в первой — незначительно. Таким образом, интенсивность развития ранее окисленных, ныне осветленных пород убывает сверху вниз, причем в нижележащие отложения кислородсодержащие воды проникали в местах отсутствия непроницаемых пойменно-озерных отложений.

Основной компонент белесых пород, обуславливающий их окраску — каолинит. Характерно практически полное отсутствие углистого детрита и наличие карбонатов сидерита, реже кальцита. Из рудных встречаются, как правило, лейкоксен и ильменит. Содержание железа невысокое: в среднем — 0,8 %, т. е. несколько ниже, чем в сероцветных безрудных отложениях, и значительно ниже, чем в контактирующих с ними породах зоны уранонакопления. Основную часть составляет карбонатно-хлоритная (41 %) форма. Растворимое двухвалентное железо входит в состав сидерита, в меньшей мере — силикатов (гидрослюда, монтмориллонит и др.). Обломочная форма связана с лейкоксеном и алюмосиликатами. По минералого-геохимическим особенностям белесые породы можно отнести к сидерит-лейкоксеновому типу. Коэффициент восстановленности их 1,6—2, т. е. ниже, чем в сероцветных вмещающих отложениях.

Содержание урана в белесых породах невысокое, часто кларковое. Судя по данным осколковой радиографии, наиболее интенсивные скопления урана приурочены к циркону, довольно значительные — к поверхности ильменита (0,08 %), лейкоксен содержит до 0,036 %, а каолиновый цемент — до 0,002 % урана. Обломки пород и кварца практически не содержат уран, основная форма — сорбиционная, частично уран, вероятно, входит в решетку циркона. Се здесь колеблется от 1,6 до 20 отн. ед., в среднем 9,2, т. е. значительно превышает среднее значение

в сероцветных безрудных породах, но при этом характеризуется более широким разбросом. Последнее, вероятно, свидетельствует о бывших более высоких концентрациях урана.

Повышенных концентраций каких-либо элементов в зоне белесых пород не отмечается: рений здесь не обнаружен, среднее содержание молибдена — $8 \cdot 10^{-4}$ %, селена — $2 \cdot 10^{-4}$ %. Лишь в приконтактной части, у геохимического барьера, где встречаются выделения сульфидов, иногда углистого детрита, отмечается повышенное содержание урана, молибдена и селена. Эта подзона, вероятно, соответствует былой подзоне частичного окисления. Повышенная концентрация урана в ней (см. рис. 3) может служить одним из подтверждений того, что это была зона лимонитизации. Аналогичный случай, когда селен сохраняет свое место в зональности при наложении на зону окисления более поздних восстановительных процессов, отмечался и ранее (М. Ф. Каширцева, В. Д. Сидельникова, 1973).

Изученные литолого-фациальные и минералого-геохимические особенности месторождения в среднеюрско-нижнемеловых отложениях позволили установить следующие черты сходства с известными месторождениями так называемого базального типа.

1. Формированию палеодолин предшествует длительный этап пенепленизации и корообразования.

2. Тектоническая активизация привела к появлению в области питания приподнятых блоков фундамента, породы которых специализированы на уран, а также расчленению пенепленизированной территории и заполнению отрицательных форм рельефа материалом разрушающихся кор выветривания.

При сравнительном анализе ряда признаков изученного месторождения установлено сходство и различие его с типично инфильтрационными.

1. Концентрация урана и сопутствующих ему элементов на всех месторождениях обусловлена формированием рудоконтролирующей эпигенетической окислительной зональности, затухавшей впоследствии интенсивным процессом вторичного восстановления.

2. Наряду с ураном в рудах концентрируются Se, Re, Mo, V, в отдельных месторождениях — Ag, Ge, Co и др.

3. Преобладающая эпигенетическая минерализация: регенерированная урановая чернь, настурин, коффинит, дисульфиды железа, ферроселит, самородный селен, иордизит, молибденит, сфалерит и др.

4. По минералого-геохимическим особенностям вмещающие породы многих месторождений можно отнести к углесто-сульфидному или сульфидному типу, благоприятному для уранонакопления.

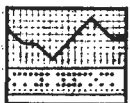
5. Вмещающие безрудные породы характеризуются низкими, близкими к кларковому содержанию урана, который концентрирует углистые остатки,

лейкоксен, оксиды железа, глинистые минералы, циркон.

От классических инфильтрационных эти месторождения отличаются субплатформенным тектоническим режимом во время осадконакопления и существующим ныне контролем оруденения границей выклинивания зоны осветления, которую по ряду признаков можно рассматривать как восстановительную зону лимонитизации.

Совокупность признаков, главным из которых является концентрация оруденения на выклинивании бывшей зоны окисления, позволяет отнести рассматриваемое месторождение к экзогенным эпигенетическим.

Принята редколлегией 25 апреля 1988 г.



ГЕОФИЗИКА И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ

УДК 550.831:550.8:528

И. И. АКРАМОВСКИЙ, Т. А. МИЛАЙ,
Н. А. ЕФРЕМОВА (НПО «Рудгеофизика»)

Гравиразведка в крупномасштабном геологическом доизучении горнорудных районов

Крупномасштабное геологическое доизучение горнорудных районов страны начато практически всеми региональными геологическими организациями. Естественно, что доизучение предусматривает использование наиболее эффективной современной технологии, методики и аппаратуры. Значительная роль в этом процессе принадлежит геофизике.

Интересны попытки применения геофизики для обоснования отхода от традиционной, «билибинской» металлогении, предполагающей строгую зависимость оруденения от линейных тектонических (структурно-формационных) зон. Между тем размещение многих рудных месторождений мантийного происхождения определяется структурами, не связанными (или связанными лишь отдаленно) с «приповерхностной» тектонической зональностью.

Рассмотрим возможности гравиразведки для картирования скрытых или

погребенных структур с позиций сегодняшнего состояния вопроса, регламентированного как уровнем аппаратной и методической оснащенности так и изученностью рудоносных площадей.

Создание к 1980 г. методики производства гравиметрической съемки масштаба 1:50 000 в горных условиях, сопоставимой по точности, густоте и равномерности пунктов измерения со съемкой на равнинах, позволило начать разработку эффективного использования гравиразведки в помощь геологическому картированию и крупномасштабному прогнозированию руднополезных ископаемых (и в том числе наиболее ценных), большинство которых приурочено именно к горным районам (Ю. Н. Никольский, И. И. Акрамовский, Н. А. Ефремова, В. И. Павлов, А. И. Каленицкий, Ю. А. Жилин, Л. П. Скачков и др.). Стоимость такой съемки, естественно, значительно

ше, и потому перспективы ее применения зависят от количества и качества геологической информации. Накопившийся за последнее десятилетие опыт крупномасштабной гравиразведки в горах позволяет уже сейчас сделать ряд практических выводов.

Качество интерпретации материалов гравиразведки в горах улучшается благодаря большей достоверности геологических экстраполяций на глубину, обусловленной значительным эрозионным врезом. Это дает возможность, «закрепляя» известные геологические границы, «снимать» гравитационное влияние верхних этажей и более достоверно судить о строении геологических тел на глубине.

Одно из достоинств крупномасштабной гравиразведки заключается в возможности проверки с ее помощью конкурирующих геологических гипотез о строении района. Например, геологическое доизучение в начале 80-х годов разными организациями Кафанского рудного поля привело к появлению четырех вариантов геологической карты, во многом противоречащих друг другу и позволяющих по-разному не только трактовать геологическую структуру, но и оценивать перспективы месторождения, несмотря на то что за последние 15 лет пробурено более 300 скважин глубиной 300—700 м, казалось бы, существенно повышающих объективность карт. Использование материалов гравиразведки позволяет отдать предпочтение одной из предложенных гипотез геологического строения. Однако возможность проведения в горах гравиметрической съемки масштаба 1:50 000 еще не решает проблемы. Требуется методика интерпретации, надежно выделяющая «полезный сигнал» из разнообразных помех, к которым прежде всего относится «эффект разновысотности» гравиметрических измерений.

Унифицированная технология интерпретации для горных областей находится в стадии разработки. Тем не менее уже имеется ряд способов разделения аномального поля на составляющие и количественной интерпретации как отдельных остаточных аномалий, так и сложных полей Δg_a , пригодных для использования в условиях расчлененного рельефа.

В процессе интерпретации традиционно выделяются качественные и количественные методы. Первые включают визуальный анализ и сопоставление гравиметрической карты с картами других физических полей и геологическими материалами (картами, разрезами, данными бурения). На этой основе вырабатывается первоначальная (или уточняется уже сложившаяся) геологическая гипотеза и делаются предположения о природе аномалиеобразующих объектов. Иногда производятся также районирование гравиметрического и других физических полей и их корреляционный анализ с привлечением ЭВМ, что уже представляет собой переход к количественной интерпретации. Затем предположения об аномалиеобразующих объектах проверяются решением прямой задачи или сначала параметры объектов уточняются решением обратной (если геологические предпосылки для их определения отсутствуют).

Такая последовательность на практике сводится к преобладанию качественной интерпретации с добавлением простейших расчетов для некоторых характерных или геологически интересных аномалий. Выбор последних нередко субъективен и приводит к потере значительной части информации, содержащейся в аномальном гравитационном поле. Кроме того, интерпретация полностью зависит от геологической гипотезы и при ошибочности ее дает ложные результаты. Наконец, для геологического доизучения требуются геофизические сведения (или хотя бы предположения) о глубинном (объемном) строении, для чего выделяются «слабые» аномалии от глубокозалегающих объектов. Отсюда вытекает необходимость разделения исходного гравиметрического поля на различные составляющие и локализации аномалий разной частоты (или разной глубинности).

В горных областях перед разделением исходного аномального поля необходимо «очистить» его от помех, связанных с недостатками учета влияния масс дневного рельефа и кривизны поверхности Земли. Помехи выражаются в появлении аномалий (чаще всего длинноволновых), коррелирующихся с формами рельефа и сопоставимых с

аномалиями, вызванными разновысотностью поверхности измерения (разной удаленностью пункта измерения от аномалиеобразующего объекта). Методика подавления таких помех опубликована [4].

Простейшие способы разделения (осреднение исходного поля палеткой различного размера, пересчеты в верхнее и нижнее полупространство, аппроксимация полиномами различной степени и т. п.) реализованы на ЭВМ и не представляют затруднений. Однако с их помощью не всегда удается выделить группы аномалий, связанных с источниками одного порядка. Особенно сложна эта задача для горных областей. В некоторых случаях разрывы спектра выявляются при анализе гармоник полного нормированного градиента силы тяжести [2].

Статистический способ разделения аномалий различного периода по уровням глубины залегания аномалиеобразующих источников предложил А. М. Петрищевский [9]. В. К. Орловым разработан вариант корреляционной методики (кросс-спектральный способ) разделения исходного аномального поля, предполагающий изостатическую компенсацию форм дневного рельефа на разных глубинных уровнях [8]. Суть способа, названного корректируемой аппроксимацией, заключается в поисках наиболее вероятного геологического содержания регионального фона, полученного аппроксимацией исходного поля полиномом низкой степени. Для поиска используется метод автоматизированного подбора (материальными отрезками) с последующим переходом к семействам тел или контактных поверхностей, обладающих различной избыточной плотностью [10]. Если аномальное гравитационное поле рассматривать как мнимую часть аналитической функции, то единственной характеристикой аномалиеобразующих источников, определяющей ее однозначно, являются «особые точки», т. е. точки, в которых значения функции стремятся к бесконечности [4, 6].

Существует много способов нахождения особенностей функции гравитационного потенциала. К условиям неровного рельефа приспособлен, например, упомянутый способ автоматизированного подбора. По мнению авторов,

он представляет собой шаг вперед по сравнению с традиционным подходом, когда делается попытка сразу получить геолого-плотностную модель. Устойчивость решения обратной задачи повышается, если в начале подбираются семейства тел (источников). Для построения «глубокой» части разреза может быть привлечен способ нормированного градиента силы тяжести в модификации Э. А. Мягковой [6].

Процесс геологической интерпретации удобно разделить на: 1) построение модели первого приближения, 2) построение окончательной геолого-плотностной модели.

Модель первого приближения исследуемого объекта найти наиболее важно, поскольку она определяет эффективность интерпретации в целом. Прежде всего необходимо задаться числом источников, создающих поле. Оно должно быть минимальным, так как количество параметров, определяющих объект, должно соответствовать информации, содержащейся в аномальном поле, а с увеличением числа объектов растет число параметров и, следовательно, неустойчивость решений. Поэтому начальная модель должна содержать самые общие, но характерные черты объекта.

После принятия предположения об источнике регионального фона и исключения влияния известных по геологическим материалам объектов надолго решит вопрос о числе нескрытых геологических тел, определяющих остаточное гравитационное поле (и, следовательно, числе стержней в способе автоматизированного подбора). При подборе нужно стремиться, с одной стороны, к получению возможно более полной информации, а с другой, — чтобы она не носила случайный характер. Для начала подбор осуществляется с относительно малой точностью (около 10 %) минимально возможным числом стержней. Если требуется увеличить точность или усложнить форму объекта соответственно геологическим представлениям, число стержней увеличивается, как правило, не соответствует схематичным телам, получаемым в процессе автоматизированного подбора. Задача уточнения формы, если она решается простым способом, перено-

сится на следующий этап интерпретации. Могут возникать ситуации, когда автоматизированный подбор недостаточен для получения общего представления о «глубокой» части разреза, тогда привлекаются другие способы.

После построения модели первого приближения подбирается окончательная геолого-плотностная модель. Вначале уточняется форма подобранных на первом этапе тел. Производится замена какого-либо стержня «углом» или несколькими стержнями таким образом, чтобы получить лучшее приближение к аномальному полю и учесть дополнительную геологическую информацию. На этой стадии главную роль играют параметризация стержней (или любых других элементов подбора, например, призм) и механизм минимизации.

Дальнейший процесс интерпретации может идти двумя путями.

1. Исключение из исходного аномального поля регионального фона и поля от модели первого приближения. Остаточное поле после этих операций интерпретируется в соответствии с данными о геологическом строении поверхности, которые заимствуются из наиболее крупномасштабных геологических карт изучаемой площади. Локальные аномалии, сопоставимые с геологическими объектами, используются для уточнения их формы и размеров. При этом применяются разные модификации метода особых точек. Затем вычитается влияние геологических объектов, имеющих определенные размеры и устойчивую среднюю плотность (например, крупные интрузии, складчатые, осадочные или вулканические толщи). Таким образом сужается область поисков: остаются локальные аномалии неизвестной геологической природы, истолкование которых и является конечной целью интерпретации. Для их определения применяются различные комбинации геологических предположений, основанные на данных других геофизических методов и решениях обратных и прямых задач. Этот путь, известный под названием «последовательных геологических приближений», пригоден лишь в случае наличия подробной геологической карты и разрезов, объективной характеристики плотности, опирающихся на

материалы бурения. Такие сведения имеются для хорошо изученных рудных полей, где четко формулируется цель поисковых работ — ситуация, характерная для следующей — поисковой стадии геологоразведочного процесса.

2. Для обычной ситуации, когда кроме геологической карты масштаба 1 : 50 000 и мельче, имеются только материалы геофизических съемок, более пригоден путь последовательного усложнения геолого-плотностного разреза и многократной проверки его решением прямой задачи. Процесс уточнения начинается с объединения регионального фона и модели первого приближения. На этом же этапе в модель вводятся все геологические тела с известными размерами и плотностью (по геологической карте). Решением прямой задачи выявляются несоответствия поля модели и исходного аномального поля и вносятся исправления в геолого-плотностную модель. Параллельно уточняются размеры, форма и плотность известных геологических тел путем решения обратных задач (метод особых точек) для локальных аномалий, отчетливо связанных с этими телами. Процесс уточнения геолого-плотностной модели повторяется до тех пор, пока все известные геологические тела увязываются с исходным аномальным полем (расхождение расчетного и эмпирического графиков аномального поля не превышает тройной среднеквадратической погрешности измерения в данном масштабе). Полученный таким способом геологический разрез не должен противоречить геологической гипотезе, хотя сама гипотеза может претерпеть изменения в процессе интерпретации. Схема технологического процесса интерпретации дана на рис. 1.

Примеры геологической интерпретации с использованием перечисленных способов приведены ниже.

В практике интересны не столько довольно частые случаи совпадения элементов аномального поля силы тяжести с геологическими, что само по себе свидетельствует о картировочных возможностях гравиразведки (рис. 2), сколько случаи, когда картина аномального поля сложнее или во многом отличается от геологической карты.



Рис. 1. Технологическая схема интерпретации материала крупно-масштабной гравиразведки

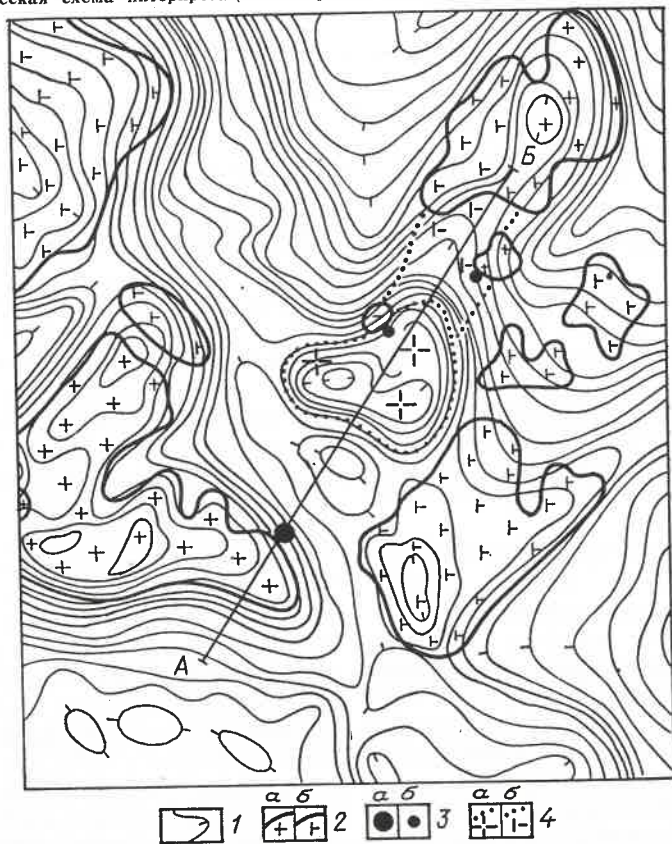
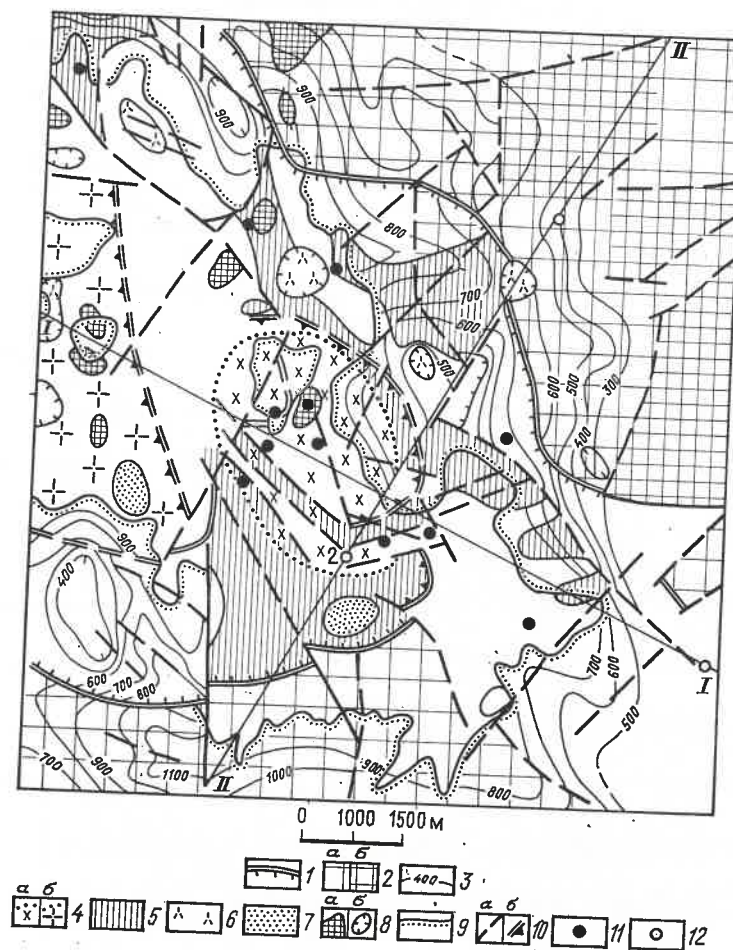


Рис. 2. Отображение массивов гранитоидов в аномалиях поля силы тяжести: 1 — изолинии поля силы тяжести (бергштрих направлен в сторону падения интенсивности поля); 2 — интрузии (а — граниты, б — гранодиориты); 3 — оруденение (а — промышленное, б — не промышленное); 4 — вскрытые массивы гранитоидов (а — граниты, б — гранодиориты); А, Б — профили интерпретации

Рис. 3. Схема объемного строения рудного поля: 1 — граница потенциально рудоносной площади по гравиметрическим данным; 2 — область распространения пород повышенной плотности: а — в нижних структурно-вещественных комплексах (этажах), б — в докладчатом фундаменте (возможно скопление продуктов магматизма основного состава); 3 — изолинии подошвы надрудного структурно-вещественного комплекса, м; 4 — участки, наиболее перспективные на оруденение по гравиметрическим данным: а — медно-полиметаллическое в кровле интрузии плагногранитов, б — медно-молибденовое в кровле предполагаемой интрузии гранитов; 5 — положительные структуры в рудомещающем структурно-вещественном комплексе (локальные максимумы Δg_a); 6 — предполагаемые субвулканические интрузии кислого состава; 7 — участки повышенной мощности четвертичных отложений (локальные минимумы Δg_a); 8 — локальные аномалии неясной природы: а — положительные, б — отрицательные; 9 — граница надрудного комплекса; 10 — разрывные нарушения: а — по геолого-геофизическим, б — по гравиметрическим данным; 11 — рудопроявления; 12 — скважины; I—I, II—II — профили

Примером такого несовпадения может служить одно из хорошо изученных медно-полиметаллических рудных полей, которое, по данным гравиразведки (рис. 3), окаймляется с востока полукольцом локальных максимумов первого порядка. Внутренняя граница подчеркнута зоной интенсивного горизонтального градиента Δg , на некоторых участках совпадающей с геологически установленными или предполагаемыми разломами. Граница очерчивает практически всю рудоносную и потенциально перспективную площадь.

Внутри этой области выделяется локальный минимум первого порядка, охватывающий собственно рудное поле. Интенсивность его ступенями возрастает к западу. Ступени отражены зонами повышенного горизонтального градиента, в общих чертах совпадающими с геологически установленными разломами. Этому участку соответствует пониженное магнитное поле, что, вероятно, связано с гидротермальными изменениями пород.

В качестве исходных для построения модели первого приближения приня-

ты следующие допущения: понижение уровня гравитационного поля в центральной части вызвано наличием на глубине масс пониженной плотности. Плотность этих масс, судя по керну скв. 2, около $2,7 \text{ г/см}^3$ (см. рис. 3), а плотность вмещающих пород $2,75\text{—}2,8 \text{ г/см}^3$. Предполагаемый на глубине $5\text{—}7 \text{ км}$ по данным КМПВ фундамент должен иметь более высокую плотность, в среднем близкую плотности базальта ($2,9 \text{ г/см}^3$), в противном случае он не может обусловить существование регионального фона. После введения этих ограничений по локальной аномалии первого порядка, полученной вычитанием регионального поля, аппроксимированного полиномом второй степени, подобраны аномальный объект и его плотность. Затем по исходному графику Δg подобрано положение фундамента с плотностью пород $2,9 \text{ г/см}^3$ (с введением ранее полученного тела, вызывающего локальный минимум Δg). Далее была построена геолого-плотностная модель разреза, учитывающая приповерхностные тела, и осуществлена проверка ее решением прямой задачи. Исходный и теоретический графики различаются не более чем на $0,4 \text{ мгал}$. Геологическое истолкование материалов гравиразведки совместно с результатами других геофизических работ, геологического доизучения и бурения поисковых и структурных скважин позволило составить схему объемного строения рудного поля с элементами прогноза скрытого оруденения на его флангах (см. рис. 3).

Благодаря бурению на этапе построения модели первого приближения определена геологическая природа локального минимума силы тяжести, соответствующего центральной части рудного поля, где на поверхность выходят наиболее плотные породы. Аномалия вызвана массивом плагиогранитов пониженной плотности, эндоконтантовая зона которого на глубине $600\text{—}700 \text{ м}$ подтверждена бурением. Таким образом, получила обоснование концепция связи оруденения с нескрытой интрузией. Появился надежный региональный критерий рудоперспективности для однообразных непрерывно дифференцированных мезозойских вулканитов. Нашли объяснение брахи-антиклинальная складка, к которой

приурочено рудное поле, а также концентрические и радиальные разрывные структуры, контролирующие размещение малых интрузий.

Составлена карта изогипс с сечением 100 м подошвы осадочно-вулканогенных отложений, перекрывающих рудоносный комплекс (безрудная покрывка). При этом использовались данные бурения скважин, интерполяция между которыми делалась с привлечением локальных аномалий силы тяжести. Карта позволяет определить объем поискового бурения, необходимого для вскрытия перспективных участков. Сами участки намечаются по отчетливым локальным минимумам Δg изометричной формы (предполагаемые малые интрузии кислого состава) и менее отчетливым минимумам, соответствующим продуктивной толще не выходящего на поверхность рудоносного комплекса (продуктивная толща отличается пониженной плотностью). Естественно, при выделении перспективных участков учтены аномалии ВП, геохимические и шлиховые аномалии, данные поискового бурения и признаки оруденения на поверхности. В западной части рудного поля предполагается нескрытая интрузия гранитов, контролирующая медно-молибденовое оруденение. По данным гравиразведки намечены ее контур и рельеф кровли.

Картирование погребенных геологических тел в районах двухъярусного строения с помощью гравиразведки проиллюстрируем на примере района Центральной Армении. В основу интерпретации положен способ последовательных геологических приближений [4, 6]. За аномалиеобразующие объекты приняты рельеф метаморфического фундамента и его плотностные неоднородности (интрузии разного состава, блоки различно метаморфизованных отложений фундамента, блоки разного литологического состава и т. п.). По «очищенному» от фона аномальному полю для нескольких характерных профилей подобрана геолого-плотностная модель путем фиксирования по геологическим данным строения верхнего этажа и «подгонки» под него рельефа фундамента. За исходные принимались пункты выхода фундамента на поверхность или пункты с известной глубиной залегания его кровли. Там,

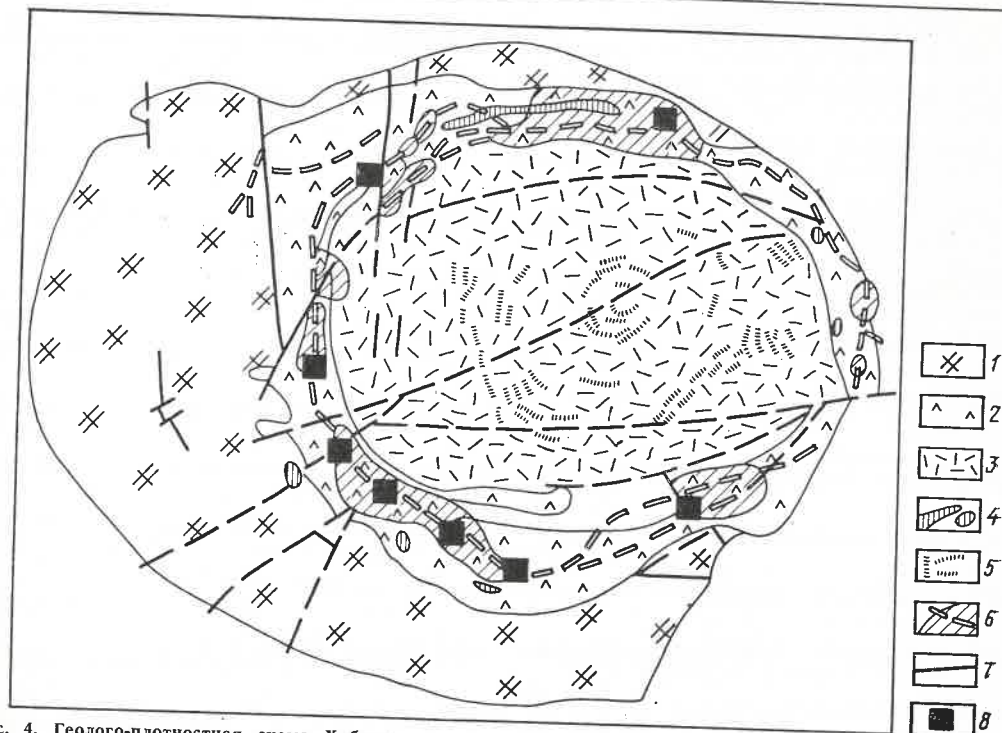


Рис. 4. Геолого-плотностная схема Хибинского массива с элементами прогноза (данные Т. В. Валовой, 1983):

1 — хибиниты (средняя плотность $2,65 \text{ г/см}^3$); 2 — ийолит-уртиты ($2,75\text{—}2,85 \text{ г/см}^3$); 3 — фойяиты ($2,63\text{—}$

$2,65 \text{ г/см}^3$); 4 — положительные аномалии магнитного поля; 5 — дайки щелочно-основного состава; 6 — локальные максимумы Δg и их оси; 7 — разломы по геологическим данным; 8 — месторождения апатита

где после такой подгонки оставались аномалии, не компенсированные рельефом фундамента или строением верхнего этажа, вводились неоднородности в составе фундамента с избытком или недостатком плотности. При построении модели учитывались, кроме геологической карты и разрезов, данные аномалий магнитного поля, сейсмозондирования станцией «Земля» и др.

Правомерность подобранной модели проверялась для характерных аномалий способом автоматизированного подбора стержнями. Стержни в зависимости от длины, наклона и положения в пространстве заменялись телами овальной формы, размеры которых определялись избыточной плотностью или контактной поверхностью. Способ использован в наиболее гипотетических участках (например, там, где на поверхности распространены отложения покровного комплекса). По глубинам фундамента, найденным на интерпретационных профилях, построена схема изогипс его поверхности сечением 500 м . Положение изогипс в плане определялось не только методом линейной интерполяции, но и контурами

локальных гравитационных аномалий. Также оконтуривались и плотностные неоднородности в фундаменте, которым по каким-либо признакам придавалось геологическое содержание, а при отсутствии таковых на карте изображались аномалии неясной природы.

В качестве примера расчленения многофазного интрузива выбран Хибинский апатитоносный массив. По сложившимся представлениям [3], Хибинский массив — многофазная интрузия центрального типа, формирование которой происходило путем последовательного заполнения магмой вертикальных кольцевых или конусообразных трещин, расходящихся или сходящихся в едином центре — магматической камере. Интрузивные фазы сменяются во времени от периферии к центру. Различают три временных серии пород (не считая четвертой — внедрение даек и жил). В первую фазу внедрилась по вертикальному кольцевому разлому интрузия хибинитов, затем по конусообразным трещинам (расходящимся кверху) интрузивный комплекс ийолит-уртитов.

На схеме результатов интерпретации гравиметрической съемки масштаба 1:50 000 (рис. 4) апатитоносный ийолит-уртитовый интрузивный комплекс выделяется отчетливой кольцеобразной положительной аномалией. Особый интерес для прогнозирования месторождений апатита представляет размещение локальных положительных аномалий в пределах этого кольца. Практически все действующие промышленные месторождения, большинство разведываемых месторождений и перспективных участков совпадают с данными аномалиями. Кроме того, если провести оси положительных аномалий силы тяжести, то выявляются участки сдвоенных (в плане) осей аномалий, возможно указывающие на второй апатитоносный «горизонт», не выходящий на земную поверхность.

Использование гравиразведки для составления крупномасштабной прогнозно-металлогенической карты рассмотрим на примере одного из колчеданно-полиметаллических рудных районов, расположенного в области широкого развития вулканогенных образований преимущественно кислого состава. Полиметаллическое, а также баритовое оруденение генетически связаны с вулканическими процессами и приурочены к вулcano-тектоническим или вулканическим структурам. Согласно другой гипотезе, оруденение связано с поствулканическими «скрытыми» интрузиями или даже с намного более молодым магматизмом, принадлежащим следующему тектоно-магматическому циклу. Кольцевые структуры приблизительно совпадают по положению и конфигурации с контурами вулканических построек на одной из имеющихся тектонических схем и существенно отличны от подобных структур на другой. Гравиметрические данные, таким образом, служат основанием для выбора одного из предлагаемых геологами вариантов.

Понижение локального поля в центральных частях кольцевых структур указывает на то, что они обусловлены отрицательными структурами — вулканическими аппаратами и связанными с ними кальдерами. Такая интерпретация подтверждается результатами проведенных одновременно с гравиметрическими сейсморазведочных работ

(МОВ). Наиболее крупная из кольцевых структур осложняется расположенным внутри нее брахиантиклинальным поднятием с внедренным в него на глубине гранитоидным интрузивом (резургентная кальдера). Известные месторождения и рудопроявления пространственно связаны с вулканическими кольцевыми структурами, а в их пределах приурочены к отчетливым интенсивным локальным максимумам, которые входят в состав кольцевых аномалий или располагаются во внутренних частях структур.

Таким образом, несмотря на ряд нерешенных вопросов, практическая методика производства гравиметрических работ в горах может уже сегодня оказывать существенную помощь в геологическом доизучении горнорудных районов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гравиразведка на стадии общих поисков и геологической съемки масштаба 1:50 000/И. И. Акрамовский, Н. А. Ефремова, В. К. Орлов и др.—Л.: Рудгеофизика. 1986. С. 55—56.
2. Елисеева И. С., Богомазова Т. А., Березкин В. М. Изучение глубинного строения земной коры с помощью метода полного нормированного градиента силы тяжести//Прикладная геофизика. 1973. Вып. 70. С. 167—174.
3. Каменев Е. А., Минеев Д. А. Новые Хибинские апатитовые месторождения.—М.: Недра, 1982.
4. Крупномасштабная гравиразведка горных районов с использованием стереофотограмметрии: Методические рекомендации.—Л.: Рудгеофизика, 1981.
5. Мовсесян С. А. Закономерности размещения рудных месторождений Армении.—М.: Недра, 1979.
6. Мякова Э. А., Акрамовский И. И. Построение геологического разреза способом расшифровки карт полного нормированного градиента.—Л., 1986. Деп. в ВИНТИ. № 9229-В-26.
7. Объемное геологическое картирование редкометаллических рудопроявлений//Под ред. А. А. Духовского.—Л.: Недра, 1981.
8. Орлов В. К. Анализ и выделение связи аномалий Буге с высотами рельефа: Автореф. дис. . . канд. физ.-мат. наук.—Л.: ЛГУ, 1984.
9. Петрищевский А. М. Опыт аппроксимации сложных геологических сред массивом материальных точек//Геология и геофизика. 1981. № 5.
10. Цирульский А. В., Никонова Р. И., Федорова Н. В. Метод интерпретации гравитационных и магнитных аномалий с построением эквивалентных семейств решений: Методические рекомендации.—Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980.

Принята редколлегией 26 декабря 1988 г.



ГЕОХИМИЯ

УДК 550.8'550.84.092.1:519.2

С. В. ГАЛЮК (ИМГРЭ)

Технология моделирования окolorудного признакового геохимического поля

Приоритетное направление исследований по формированию многофакторных моделей рудных месторождений определяет актуальность разработки технологии построения моделей различных окolorудных признаковых полей. Анализ и обобщение полученной при этом информации ложатся в основу создания поисковых моделей как совокупности характеристик, доступных для выявления современными средствами и методами.

Прогнозно-поисковая геолого-геохимическая модель (поисковая модель) — это обобщенный образ семейства рудных объектов единого иерархического уровня, выраженный через сумму геохимических параметров и имеющий практическое значение для решения задач поиска, оценки и разведки месторождений полезных ископаемых. Процедура моделирования включает в себя построение признаковых геолого-геохимических моделей (признаковых моделей) ряда эталонных объектов, их обобщение на статистической основе, отражающее постоянство важнейших подсчетных характеристик конкретных таксонов геолого-генетических типов месторождений, и разработку методов экстраполяции полученной модели на конкретные объекты.

Потенциальную возможность создать поисковые модели дает наличие огромной информации по геолого-геохимическому строению детально изученных месторождений. Однако применяемые в настоящее время способы построения признаковых моделей значительно затрудняют процесс обобщения на метрической основе. Большинство авторов при графическом способе отображения ореольного пространства предпочитают изображение полиэлементных (реже моноэлементных) ореолов вертикальным разрезам, а для отображения объемного строения ореолов используют продольные проекции.

Модели такого вида привычны, наглядны и просты в построении. Однако они затрудняют нахождение необходимых для поиска черт сходства геохимического строения объектов, преимущественно отражая особенности строения конкретных объектов в системе конкретной геометрии поисково-разведочной сети. Вероятно, поэтому попытки обобщения носят описательный или качественный характер (ряды состава элементов и зональности). К числу наиболее существенных недостатков указанных моделей можно отнести следующие: 1) модель либо недостаточно достоверна — в случае использования единичных, «опорных» разрезов, либо чрезвычайно громоздка и трудоемка — в случае большого количества пересечений; 2) метод дискретен и каждое конкретное пересечение, являясь случайным, не дает объективной оценки строения ореольного поля в целом; 3) информационные плоскости таких моделей определяются вертикалью и направлением простирания рудных тел, установленного, как правило, на ранних стадиях изучения, априорно вертикальная ориентация профилей моделирования эталонов аналогична априорной ориентации разведочных линий для любых объектов; 4) геохимические разрезы (планы) отражают совокупную геохимическую информацию различных иерархических уровней от масштаба интервала проботбора до масштаба карты (разреза). Отсутствие процедуры фильтрации «шумовой» информации для конкретного масштаба исследований также затрудняет получение сопоставимого материала для дальнейшего обобщения. Наличие продольных проекций лишь частично компенсирует перечисленные недостатки.

Анализ этих недостатков указывает на необходимость разработки единой технологии построения сопоставимых

признаковых моделей, а также позволяет сформулировать следующие основные принципы ее реализации.

Подобие, или аналогия, — означает соответствие, сходство модели и объекта в определенном заданном отношении (масштабе); благодаря этому исследователь получает представление о пространственной структуре и конфигурации объекта. Таким свойством обладают геометрические, но лишены описательные и аналитические модели.

Содержательное соответствие — подразумевает научно обоснованное изображение объекта с учетом генетических представлений, иерархии, внутреннего строения. Таким образом, признаковая модель включает в себя все положительные и отрицательные черты генетической модели, формирование которой является самостоятельной задачей и требует специальных методов построения. Кроме того, реализация этого принципа требует полноты и достоверности исходной информации. Наиболее представительные модели могут быть созданы на базе данных эксплуатационной или детальной разведки месторождений. Особое значение имеет научно обоснованная методика генерализации первичного материала с целью нейтрализации закономерностей более крупного масштаба по сравнению с моделируемой.

Избирательность — раздельное изображение признаков, что позволит дать объективную оценку каждого из них и обосновать их последующее объединение в показатели.

Синтетичность модели — обеспечивает целостное изображение геолого-геохимического образа, основанного на непрерывном изображении объема недр с минимальными угловыми искажениями.

Метричность — определяет наличие количественных характеристик, выполненных в строго определенных шкалах (масштабах). Этот принцип осуществляется путем преобразования существенной части первичного материала в числовую форму и выполнения рутинной части работы с помощью технических средств математической обработки.

Сравнимость — обеспечивает возможность сравнения как различных элементов системы (модели), так и

различных систем (моделей) в целом. Предлагается воспользоваться принципом, применяемым в кристаллографии: рудный объект (месторождение, зона, рудное тело) рассматривается не относительно современного его расположения в пространстве, а, подобно кристаллу на сетке Вульфа, относительно естественных геологических осей моделируемого объекта.

Наглядность — модель должна быть проста для восприятия и изучения.

На основе указанных принципов была сделана попытка разработки технологических основ построения поисковых моделей рудных объектов масштаба месторождения с целью выявления геохимического фактора локального прогноза многофакторной поисковой модели. Работы выполнялись на примере колчеданных месторождений малокавказского типа.

При построении поисковой модели использовались следующие основные выводы из анализа генетической модели рудных объектов этого типа: 1) месторождения имеют весьма ограниченное типовое разнообразие, они «с удивительным постоянством воспроизводятся в течение всей геологической истории развития Земли в определенных геотектонических обстановках» [4]. Этот вывод дает основание опираться на принцип подобия при поисках колчеданных месторождений; 2) существующие классификации месторождений, основанные на формационной принадлежности рудоносных комплексов, палеотектонической позиции и геохимической характеристике руд (М. Б. Бородаевская, А. И. Кривцов, А. Г. и Г. А. Твалчрелидзе и др.), позволяют типизировать банк поисковых моделей различных таксонов этих месторождений; 3) месторождения представляют собой сумму сближенных субпараллельных рудных тел в контуре рудовмещающей пачки пород. «Элементарным звеном структуры геохимической зональности колчеданных месторождений является сочетание зоны выводящего крутопадающего канала и перекрывающей его субстративной зоны рудоотложения» [1]. Этот вывод определяет наличие двух ортогональных систем расположения осей зональности; 4) следствием образования колчеданных залежей в до-

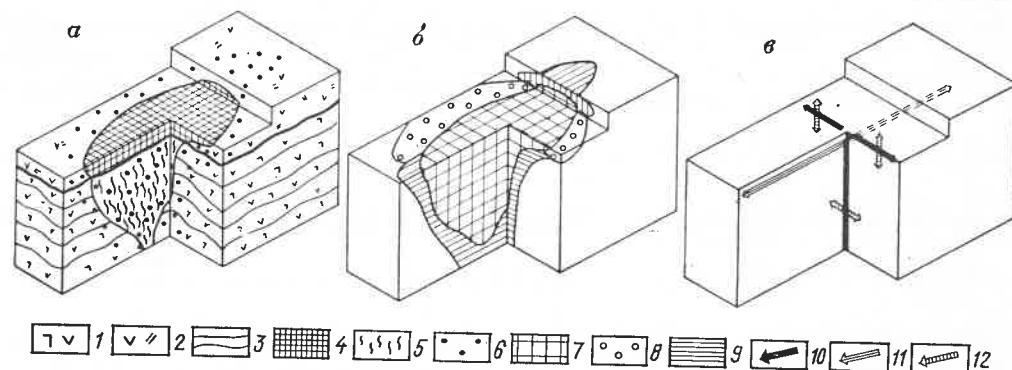


Рис. 1. Схематическая геолого-геохимическая модель колчеданного месторождения:

а — реконструированная геологическая схема; б — зональность синрудного аномального геохимического поля; в — расположение осей зональности; 1 — подрудная толща; 2 — рудовмещающая толща; 3 — направление напластования; фации оруденения: 4 —

массивная, 5 — прожилковая, 6 — вкрапленная; области с доминирующим распространением следующих ассоциаций элементов-индикаторов: 7 — рудной, 8 — фронтальной в плоскости стратиграфического горизонта оруденения, 9 — тыловой и перекрывающей; зональность: 10 — осевая, 11 — продольная, 12 — поперечная

складчатый этап развития геосинклиналей является обычно независимое расположение современного направления вертикали к синрудному его направлению, из чего вытекает необходимость палеорекострукции как моделируемых объектов-эталонов, так и потенциального рудного поля; 5) реализация модели субмаринного рудоотложения во многом определяется обстановкой рудоотложения. Наиболее существенными факторами являются: материнская, рудогенерирующая, формация, обуславливающая спектр элементов, участвующих в гидротермальном процессе и являющихся рудными элементами и элементами-индикаторами; фация рудовмещающей толщи, зависящая от глубины бассейна и определяющая градиенты концентраций элементов; палеорельеф морского дна, который обуславливает анизотропию аномального геохимического поля.

Технологическая схема работ по моделированию околорудного признакового геохимического поля включает два этапа.

I. Формирование прогнозно-поисковой геолого-геохимической модели: построение комплекса признаков моделей объектов-эталонов единого семейства; анализ и обобщение полученной информации; построение поисковой модели.

II. Обработка методов сопоставления каждого вновь оцениваемого объекта с поисковой моделью.

Построение признаковой модели эталонного объекта начинается с его па-

леорекострукции, смысл которой сводится к выявлению наличия и величины координатных приращений, компенсирующих пострудные пликтивные и дизъюнктивные дислокации. Цель эта достигается дифференциацией всего исследуемого объема на элементарные структурные блоки, последовательное решение задач трансформации от более молодых к древним дислокациям и нахождение суммарных приращений.

Затем определяются оси геохимической зональности. Вектор осевой зональности, трассирующий движения рудоносных растворов, изменяет свое направление от палеовертикального в рудоподводящей структуре к палеолатеральному в рудовмещающей структуре. В случае моделирования объекта с линейным вулканическим аппаратом вектор продольной зональности определяется направлением простираания рудоподводящего канала (рис. 1), а вектор поперечной зональности перпендикулярен первым двум в каждой точке (тип симметрии — трехосный эллипсоид). В случае наличия вулканического аппарата центрального типа продольная и поперечная оси зональности совпадают (тип симметрии — эллипсоид вращения).

Вышеописанный принцип синтетичности может быть реализован только при построении объемной модели. Под объемным геохимическим моделированием подразумевается непрерывное изображение изменений концентраций элемента в трехмерном пространстве,

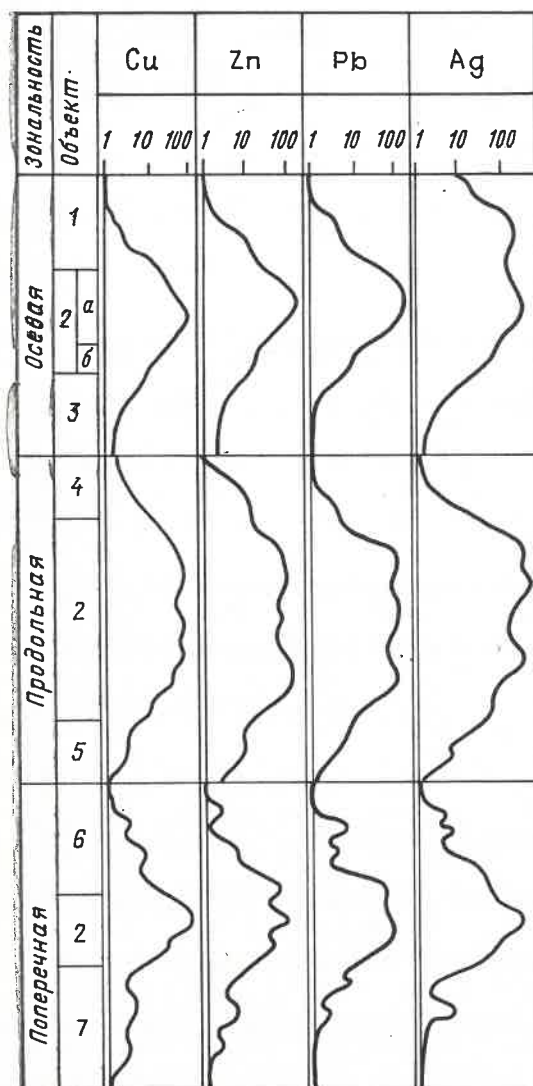


Рис. 2. Графики коэффициента аномальности K_a некоторых элементов для объемной модели комплексного геохимического ореола:
рудные объекты: 1 — фронтальная область, 2 — рудное тело (а — массивное оруденение, б — прожилковое оруденение), 3 — тыловая область, 4 — южный фланг, 5 — северный фланг, 6 — висячий бок, 7 — лежащий бок

так как концентрация элемента функционально зависит от трех координатных аргументов.

При геометрическом способе моделирования для изображения на плоскости функции трех аргументов необходимо применение метода проецирования, в основе которого используется прием преобразования одной из трех координат (аргументов) из геометрической в числовую — в виде изолиний.

В зависимости от способа проецирования можно выделить четыре вида

моделей: трехмерные (объемные) — без проецирования; двухмерные (плоскостные) — проецируется последовательно одна из трех координат; одномерные (линейные) — проецируются две координаты; точечные — проецируются три координаты.

Трехмерная модель, обладая чрезвычайной наглядностью, требует специальных материалов, сложна и трудоемка в изготовлении; двухмерная модель дает представление об объемном строении моноэлементного ореола объекта в целом. Степень обобщения, применяемого при линейном моделировании, способна дать представление о строении полиэлементного ореола, т. е. сформировать целостный геохимический образ аномального геохимического поля (рис. 2). Точечная модель, являясь наиболее обобщенной, может служить для сравнения различных объектов в целом, не отражая пространственного распределения элементов.

Наиболее целесообразно, по нашему мнению, применять модель линейного типа, которая отражает геохимическое строение моноэлементных ореолов в виде графиков концентрации, построенных по геологическим осям объекта. Для построения такой модели весь изучаемый объем недр в контуре аномального геохимического поля разбивается на элементарные подсчетные блоки серий плоскостей, перпендикулярных каждой изучаемой оси. Мощность подсчетного блока определяется масштабом выявляемых признаков. Все пробы в контуре элементарного блока статистически обрабатываются и результаты выносятся на график согласно выбранному масштабу.

Затем необходимо произвести анализ суммы построенных признаков моделей. Представительные поисковые модели могут быть получены в результате статистического обобщения как минимум трех-четырех объектов каждого вида: зоны рассеянной минерализации, рудопоявлений, малых, средних и крупных месторождений. В результате выявляется комплекс геохимических признаков, определяющих фации оруденения, их масштаб и пространственную ориентацию рудных тел в каждой зональной колонне. Полученные признаки генерализуются в

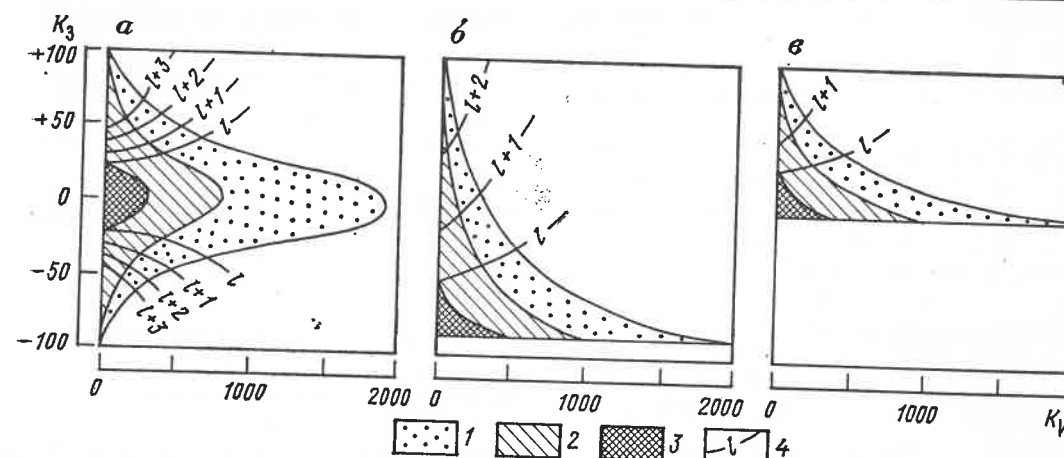


Рис. 3. Графическая схема прогнозно-поисковой геолого-геохимической модели:
зональность: а — осевая, б — продольная, в — поперечная; ореолы, связанные с различными фа-

ми оруденения: 1 — массивной, 2 — прожилковой, 3 — вкрапленной; 4 — расстояние до зоны максимальных концентраций рудных элементов

комплексе полиэлементных геохимических показателей, способствующих решению поисковых вопросов. В качестве таких показателей автор использовал четыре коэффициента: интенсивности K_i , выражающий интенсивность геохимических преобразований, произошедших в изучаемой точке геологического пространства; осевой $K_{зо}$, продольной $K_{зпр}$ и поперечной $K_{зп}$ зональности, определяющие положение точки в зональной колонне каждой оси:

$$K_i = \sum_{\tau=1}^n |K_{a\tau} - 1|,$$

$$K_z = (K_{zi} - K_{ij}) / K_{it} \cdot 100,$$

где τ — элементы-индикаторы данного типа оруденения; i — элементы-индикаторы фронтальной ассоциации для асимметричной зональности и центрбежной ассоциации для симметричного типа зональности; j — элементы-индикаторы тыловой ассоциации для асимметричной зональности и центростремительной ассоциации для симметричного типа зональности.

Построение поисковой модели заключается в нахождении эмпирических зависимостей между величинами геохимических показателей и поисковой информацией: характером предполагаемого оруденения и расстоянием до него. Такая модель зависит от технической оснащенности пользователя средствами математической обработки и может быть представлена в анали-

тическом виде или в виде номограмм. Для построения поисковой модели первичная геохимическая информация в точках опробования пересчитывается в показатели и выносится на 4-мерное признаковое поле с координатами K_i , $K_{зо}$, $K_{зпр}$, $K_{зп}$. Далее поисковая информация обрабатывается с использованием статистических методов построения эмпирических формул. В качестве примера решения этой задачи в геометрическом варианте предложена схематическая номограмма (рис. 3).

Второй этап моделирования посвящен способам экстраполяции информации поисковой модели на выявленное по случайным пересечениям ореольное поле потенциального рудного объекта, на базе которой должна проводиться оперативная корректировка размещения заверочных выработок.

Представляется целесообразным следующий порядок работ по локальному геохимическому прогнозированию масштабов 1:10 000—1:25 000 скрытого колчеданного оруденения. Работу следует начинать с анализа исходной геологической информации, полученной на предшествующих стадиях поисковых работ. Формационно-фациальные карты с серией глубинных геолого-геофизических разрезов и карты палеорекострукции уровней рудоконтролирующих кислых вулканитов позволят установить геолого-генетический тип предполагаемого оруденения и соответственно применяемую в контуре конкретного рудного поля поисковую мо-

дель. Карты палеорельефа морского дна с изогипсами их современного залегания выявляют расположение системы осей геохимической зональности. Данные анализа геохимического опробования потенциально рудовмещающей пачки пород пересчитываются в предложенные показатели и сверяются моделью. В результате определяется фация оруденения, связанного с выявленной аномалией, его масштаб (уровень соответствия модели и искомого объекта), что позволит оценить прогнозные ресурсы и установить пространственную ориентацию промышленных концентраций рудных компонентов, которая является основой для рационального размещения заверяющих скважин.

Целесообразность использования геохимической поисковой модели в первую очередь зависит от величины, на которую площадь закономерного ореола пространства больше площади оруденения. Определение этого параметра в зависимости от условий руды и ореолообразования (химизм растворов, глубины морского бассейна и палеорельеф дна) в каждом конкретном случае дает основание решить: применять (или не применять) рассмотренный геохимический метод и, если применять, то с какой сетью опробования.

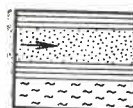
Таким образом, прогнозно-поисковая геолого-геохимическая модель, являясь составной частью многофакторной модели, создается на базе статистического обобщения закономерностей строения признаков геолого-геохимических моделей эталонных объектов. Формирование признаков геолого-геохимической модели опирается на

фундаментальные теоретические представления о генезисе данного типа оруденения (генетическая модель) и строится относительно естественных геологических осей моделируемого объекта. Рациональность использования геолого-геохимической модели при локальном прогнозе зависит от конкретных геологических факторов, выявляемых на предшествующих стадиях поискового процесса. Для колчеданного оруденения основными из них являются: рудогенерирующая формация, определяющая спектр элементов гидротермального процесса и соответственно таксон модели; фация рудовмещающих вулканитов, выявляющая градиент геохимических показателей; палеорельеф морского дна, обуславливающий анизотропию ореола поля. Экспрессная методика локального геохимического прогноза скрытого оруденения заключается в идентификации параметров случайных сечений геохимических аномалий с информацией обобщенной модели аналогичного таксона, определяющей объемный геологический образ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В. Д. Стереометаллогеническая модель колчеданной рудной формации // Геохимические методы при поисках скрытого оруденения. М., 1984. С. 52—75.
2. Берлянт А. М. Образ пространства: карта и информация. — М.: Мысль, 1986.
3. Козловский Е. А., Кривцов А. И. Моделирование рудных месторождений: направления и задачи // Сов. геология. 1988. № 3. С. 3—8.
4. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. — М.: Недра, 1982.

Принята редколлегией 30 января 1989 г.



ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 553.065

А. А. ШПАК, Л. В. БОРЕВСКИЙ, С. В. ОСТАПЕНКО,
Н. С. ОТМАН (ВСЕГИНГЕО)

Парогидротермы: проблемы изучения и промышленного освоения

В связи с истощением традиционных источников энергии, удорожанием органического топлива, а также необходимостью решения экологических проблем за последние годы все большее внимание во всех странах уделяется освоению новых источников энергии. Доминирующей среди них, по оценкам специалистов, до конца текущего столетия будет оставаться геотермальная энергия.

Геотермальная энергия используется в 17 странах, всего в мире имеется около 190 геотермальных электростанций суммарной мощностью 4800 МВт (данные на 1987 г.). К 1990 г. запланировано довести общую мощность ГеоТЭС до 10 000 МВт. Практически установлено, что по комплексу технико-экономических показателей для выработки электроэнергии необходимы месторождения с температурой теплоносителя 150 °С и выше.

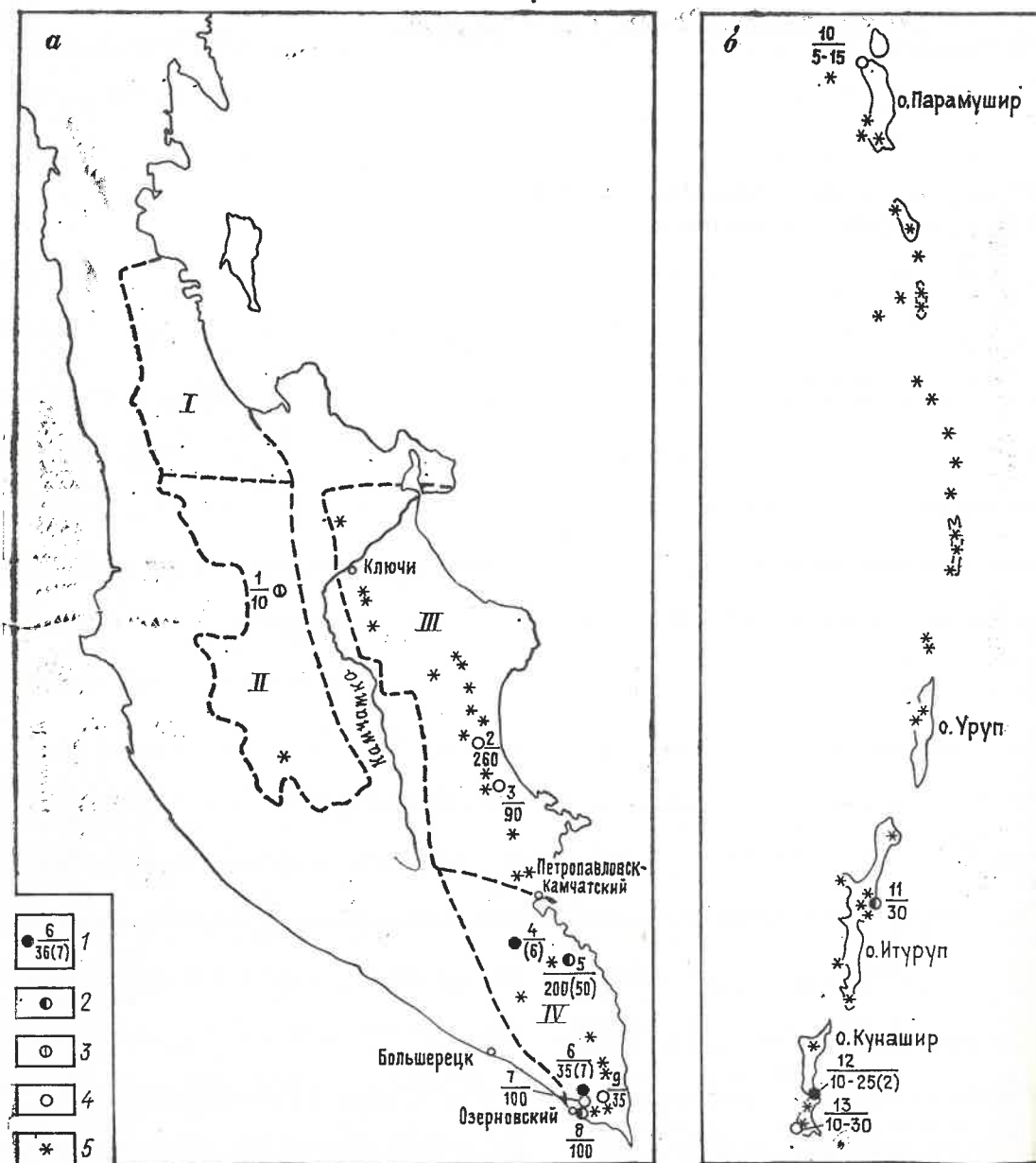
На территории нашей страны такие парогидротермальные месторождения известны только в пределах Курило-Камчатской вулканической зоны. Геотермальные ресурсы здесь по суммарной мощности ГеоТЭС оцениваются не менее чем в 900—1000 МВт [6]. Однако их освоение идет крайне медленно и неэффективно. Сейчас на Камчатке работает единственная — Паужетская ГеоТЭС с установленной мощностью 11 МВт, используемой меньше чем наполовину.

Разведаны с утверждением запасов месторождения Большебанное и Горячий Пляж, фланги Паужетского месторождения и центральная часть Мутновского (участок Дачный). Продолжается разведка Мутновского, Океанского (о-в Итуруп) месторождений, заканчивается эксплуатационная разведка Паужетского, возобновлены работы на Нижнекошелевском. В ближайшей перспективе планируется изучить Киреунское, Верхнекошелевское

и Камбальное месторождения. Большинство названных месторождений сосредоточено в Южно-Камчатском геотермальном районе (рисунок), где наиболее активна вулканическая деятельность. Геотермальные ресурсы этого района, согласно прогнозным оценкам, могут обеспечить теплоносителем ГеоТЭС суммарной мощностью не менее 500 МВт.

Месторождение парогидротерм представляет собой часть современной гидротермальной системы, в пределах которой технически доступно и экономически целесообразно извлечение из недр подземного теплоносителя [2]. Формирование современных гидротермальных систем и приуроченных к ним месторождений связано с локальными магматическими очагами — источниками их теплового питания. Водные ресурсы месторождений обусловлены восходящим потоком подземных вод, нагреваемых на глубине теплом магматического очага и поднимающихся вверх за счет конвекции. Гидрогеологические особенности месторождений парогидротерм определяются в основном их приуроченностью к отрицательным вулканическим структурам — вулканогектоническим депрессиям, наложенным грабенам и кальдерам. Многочисленные разнонаправленные тектонические нарушения создают блоковую структуру месторождения с различными гидрогеологическими условиями в отдельных блоках. Как правило, на фоне многочисленных различно ориентированных нарушений выделяются главные линейные — разломные зоны, с которыми связано поступление глубинного теплоносителя в современную водонапорную систему [2].

Основные водовмещающие толщ резервуара-коллектора — это обычно вулканогенные и вулканогенно-осадочные комплексы, характеризующиеся



Схематическая карта месторождений парогидротерм Камчатки (а) и Курильских островов (б): геотермальные районы I — Северо-Камчатский, II — Среднекамчатский, III — Восточно-Камчатский, IV — Южно-Камчатский; месторождения парогидротерм: 1 — разведанные (в числителе — месторождения парогидротерм: 1 — Киреунское, 2 — Семьячское, 3 — Карымское, 4 — Большещерецкое, 5 — Мутновское, 6 — Паужетское, 7 — Верхнекошелевское, 8 —

низкой пористостью и первичной проницаемостью. Последняя обусловлена в большинстве случаев тектонической трещиноватостью, что предопределяет существенную неоднородность и анизотропию фильтрационных и емкост-

ных свойств продуктивных горизонтов месторождений.

Месторождения парогидротерм имеют относительно небольшие размеры — от единиц до первых десятков квадратных километров. Они доста-

точно четко обособлены на площади и в разрезе и располагаются в окружении холодных вод, находясь с ними в сложном гидрохимическом и гидродинамическом взаимодействии.

В зависимости от фазового состояния теплоносителя в природном резервуаре месторождения можно разделить на три типа: 1) однофазные — перегретых вод; 2) перегретых вод с пароконденсатной зоной; 3) двухфазные. Последние делятся на вододоминирующие и парадоминирующие. На типизации месторождений основывается метод гидрогеологической аналогии, применяемый при прогнозных оценках их теплоэнергетической мощности [7]. Как показывает опыт разведки и эксплуатации отечественных и зарубежных месторождений парогидротерм, каждый выделенный тип их отличается качеством теплоносителя (вид, энтальпия); реакцией на разработку, или тенденцией изменения основных параметров месторождения в процессе разработки (давление, энтальпия, водо- или паронасыщенность, расходы скважин); режимом их эксплуатации; особенностями восполнения запасов массы и энергии; технологией использования теплоносителя.

Согласно современной классификации, парогидротермальные месторождения относят к третьей группе сложности по условиям проведения геологоразведочных работ и подсчета запасов теплоносителя [3]. Сложность разведки парогидротерм усугубляется также тяжелыми природно-климатическими условиями Камчатки и Курильских островов. Как правило, при этом необходимо создание здесь дополнительной инфраструктуры (строительство дорог и подъездных путей, базовых и вахтовых поселков и т. д.), что требует значительных денежных и материальных затрат, сопоставимых с затратами на сооружение самого промышленного объекта. Так, согласно технико-экономическим проработкам, затраты на строительство Мутновской ГеотЭС мощностью 50 МВт составляют около 235 млн р., тогда как на поисково-разведочные работы, обеспечивающие утверждение запасов для этой станции в ГКЗ, было истрачено около 45 млн р.

Из-за сложности геолого-гидрогеотермических условий достоверная оценка запасов по промышленным категориям в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [3, 4] возможна лишь по результатам достаточно продолжительного опытно-эксплуатационного выпуска (ОЭВ) с производительностью, сопоставимой с мощностью проектируемого водозабора. Подготовка и проведение такого выпуска (особенно при условии захоронения отработанного теплоносителя) требуют крупных капитальных вложений и серьезных инженерных работ, не свойственных геологоразведочному процессу (прокладка трубопроводов, сооружение и эксплуатация сепарационных установок и нагнетательных станций и пр.). Кроме того, в процесс ОЭВ, являющегося, по сути, пробной эксплуатацией месторождения, безвозвратно и непроизводительно расходуется значительное количество теплоносителя. Так, при ОЭВ на Мутновском месторождении было выпущено 4,2 млн т природного пара. При существующих расходных характеристиках турбин (2 кг/с пара на 1 МВт мощности) этого количества пара хватило бы для выработки 583 млн кВт·ч электроэнергии. При средней для Камчатки цене 8,7 к. за 1 кВт·ч общая стоимость электроэнергии составила бы около 51 млн р. Таким образом, стоимость безвозвратно утраченной в результате выпуска электроэнергии превышает затраты на геологоразведочные работы.

Следовательно, формальное применение существующей стадийности процесса разведки месторождений подземных вод [4] к месторождениям парогидротерм приводит к значительной задержке их промышленного освоения и нерациональному расходованию средств. Так, разведка первой очереди Мутновской ГеотЭС на 50 МВт длилась почти 10 лет, после чего лишь только приступили к проектированию станции. Такие темпы работ даже с учетом весьма сложных природно-климатических условий месторождения и нерешенности ряда технико-технологических проблем бурения, оборудования и опробования высокотемпературных скважин не могут быть признаны удовлетворительными.

Как показывает зарубежный опыт [1], необходимо рациональное совмещение процессов изучения и промышленного освоения парогидротермальных месторождений с оценкой в каждом конкретном случае степени экономического риска. Так, на Филиппинах, занимающих первое место в мире по темпам разведки и освоения высокотемпературных геотермальных ресурсов, весь этап от начала геологоразведочных работ до окончания строительства ГеоТЭС мощностью 110 МВт занимает 7 лет при глубинах разведки до 3 км [8]. Отметим, что геолого-геотермические условия парогидротермальных месторождений Филиппин и Курило-Камчатского региона, входящих в состав Тихоокеанской островной дуги, близки между собой.

Другой, еще более поразительный пример — темпы изучения и освоения месторождения Гейзеры в штате Калифорния (США). Здесь начаты работы в середине 50-х годов и в 1960 г. пущен первый энергоблок мощностью 11 МВт, на 1986 г. сооружено 19 энергоблоков суммарной мощностью 1400 МВт. При этом стоимость электроэнергии, получаемой за счет геотермальных ресурсов, на 25—30 % ниже, чем стоимость энергии, производимой на базе традиционных топливно-энергетических ресурсов. Удельные капитальные вложения в ГеоТЭС [9], несмотря на их рост в связи с расходами на природоохранные мероприятия (улавливание и обезвреживание сероводорода, закачка 20—25 % отработанного теплоносителя в недра), также остаются сравнительно низкими (не более 1,5 тыс. дол. на 1 кВт).

С учетом всего вышесказанного с целью сокращения стоимости и сроков проведения работ на месторождениях парогидротерм необходимо совмещение их разведки с промышленным освоением. Уже с ранних этапов разведочные работы должны вестись параллельно с вводом и наращиванием теплоэнергетических мощностей, а опытно-промышленная эксплуатация при соответствующей организации наблюдений должна стать основным методом изучения и оценки месторождения. Представляется целесообразным начинать проектирование и сооружение первых блоков ГеоТЭС до оконча-

тельного завершения разведочных работ, основываясь на результатах предварительной оценки ресурсов теплоносителя по данным поверхностных методов, бурения и опробования ограниченного числа скважин на участках первоочередного освоения. Обобщение опыта разведки и освоения отечественных и зарубежных геотермальных месторождений [1] показало, что таких данных вполне достаточно для оценки масштаба месторождений, а более точные цифры запасов могут быть определены лишь в процессе их пробной (опытно-промышленной) эксплуатации.

Такой подход позволит не только решить главную задачу — ускорение ввода энергомощностей, но и удешевит геологоразведочные работы за счет их электрификации (путем применения локальных энергоустановок на продуктивных скважинах) и исключения завоза горючего, что для условий Камчатки и Курил весьма существенно.

Дальнейшее освоение месторождений может производиться путем последовательного вовлечения в разведку и разработку отдельных участков в зависимости от их перспективности и по технико-экономическим соображениям. Весь цикл поисково-разведочных работ предлагается разбить на две основные стадии: поисково-оценочную и разведочно-эксплуатационную.

При определении степени изученности отдельных участков и месторождения в целом на различных стадиях и подстадиях нами были учтены изменения принципов разделения эксплуатационных запасов подземных вод на категории и оценки подготовленности разведанных запасов к промышленному освоению [5].

Основные задачи поисково-оценочной стадии — общая прогнозная оценка запасов месторождения, принятие решения о целесообразности строительства ГеоТЭС на полную мощность и по частям, подготовка материалов для проектирования первой очереди станции. Она подразделяется на поисковую и оценочную подстадии.

На подстадии поисков производятся оконтуривание и общая оценка ресурсов месторождения (по категории Р), выявление перспективных участков и установление очередности их ос-

воения. Подстадия включает: 1) сбор, обработку и анализ материалов ранее проведенных работ; 2) специальную гидрогеологическую съемку — термометрическую, гидрохимическую, почвенно-газовую, поверхностные газгидрохимические исследования и пр.; 3) комплекс геофизических исследований, в первую очередь — электроразведку; 4) бурение и опробование ограниченного числа (1 скв. на 5—7 км² площади) глубоких поисково-картировочных скважин (2—2,5 км).

По результатам исследований на поисковой подстадии определяются принципиальное строение и масштабы месторождения, его ресурсы. Предварительно на этой подстадии оцениваются площадь месторождения, глубина залегания и мощность продуктивной зоны, фазовое состояние теплоносителя, его температура, естественная разгрузка, выбирается участок для первоочередного освоения, а также другие перспективные участки и намечается примерная очередность их освоения.

Главная задача оценочной подстадии — определение эксплуатационных запасов участка первоочередного освоения, выбранного по результатам поисковой подстадии и согласованного с заказчиком. Оценочная подстадия предполагает проведение на участке первоочередного освоения детальных крупномасштабных площадных геофизических работ, бурение, проведение пробных и опытных выпусков и нагнетаний, наблюдения за режимом поверхностных и подземных вод, изучение качества теплоносителя.

По результатам перечисленных работ с использованием материалов поисков оцениваются ресурсы всего месторождения (по категории Р) и запасов участка первоочередного освоения (по категории С), разрабатывается проект временных кондиций по месторождению. Подсчет ресурсов и запасов и проект кондиций выносятся на рассмотрение и проходят апробацию в ГКЗ СССР и утверждаются соответствующим отраслевым министерством. Результаты поисково-оценочной стадии служат основой для принятия решения о целесообразности промышленного освоения месторождения в целом, проектирования и строительст-

ва очереди ГеоТЭС на базе запасов участка первоочередного освоения.

Разведочно-эксплуатационная стадия предполагает разведку и последующую опытно-промышленную эксплуатацию участка первоочередного освоения с одновременным проведением оценочных работ на остальных опоскованных участках и их дальнейшей разведкой. Стадия подразделяется на две подстадии — разведку и эксплуатационную разведку. На первой уточняются эксплуатационные запасы участка первоочередного освоения, перевод их в более высокие (промышленные) категории и оцениваются запасы на остальных участках месторождения. Основной вид работ подстадии — опытно-эксплуатационный выпуск теплоносителя с суммарным расходом, близким к заявленной потребности для обеспечения паром первой очереди ГеоТЭС. Он сопровождается режимными наблюдениями основных параметров гидротермальной системы (давления и температуры в продуктивном коллекторе и смежных водоносных комплексах, расхода, энтальпии и качества теплоносителя). При этом необходимо использовать теплоноситель для удовлетворения местных нужд (тепло- и энергоснабжения) на участке разведки. Параллельно ведутся проектирование и строительство первой очереди ГеоТЭС.

Одновременно с разведкой участка первоочередного освоения оцениваются остальные участки месторождения в соответствии с ранее установленной на поисково-оценочной стадии очередностью. Разведанный участок первоочередного освоения используется как базовый при оценке эксплуатационных запасов по методу аналогий.

Результатом разведочной подстадии является полная оценка месторождения по категории В — участка первоочередного освоения и по С — остальных участках. Составляется ТЭО постоянных кондиций всего месторождения, которое утверждается в установленном порядке и служит основанием для проектирования ГеоТЭС на полную мощность и начала строительства последующих очередей на оценочных участках.

На последующих этапах освоения месторождения выделяется эксплуата-

ционно-разведочная подстадия, включающая обобщение и анализ данных разработки первой очереди месторождения и разведочные работы на остальных участках, по результатам которых проводятся переоценка запасов месторождения, перевод их в более высокие категории. При необходимости составляется новое ТЭО кондиций. Работы на данной подстадии производятся, как правило, силами организации, эксплуатирующей месторождение.

Представляется, что именно такая последовательность изучения и освоения месторождений парогидротерм позволит значительно сократить сроки ввода их в эксплуатацию и снизить затраты на геологоразведочные работы. Одновременно более обоснованной будет и оценка эксплуатационных запасов, базирующаяся на результатах анализа данных эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вопросы изучения и оценки ресурсов высокотемпературных гидротермальных систем/С. В. Остапенко, Н. С. Отман, А. А. Самохин, А. А. Шпак.—М.: ВИЭМС, 1986.

2. Гидрогеология СССР. Камчатка, Курильские и Командорские острова.—М.: Недра, 1972. Т. 29.
3. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям теплоэнергетических вод.—М.: ГКЗ СССР, 1985.
4. Методические рекомендации по поискам, разведке и оценке эксплуатационных запасов термальных вод.—М.: ВСЕГИНГЕО, 1982.
5. Об основных положениях классификации эксплуатационных запасов и стадийности поисково-разведочных работ на подземные воды/Б. В. Боровский, Л. В. Боровский, Л. К. Гохберг и др.//Разведка и охрана недр. 1988, № 9. С. 27—31.
6. Объяснительная записка к Атласу карт ресурсов термальных вод СССР.—М.: ВСЕГИНГЕО, 1983.
7. Отман Н. С., Остапенко С. В., Шпак А. А. Типизация высокотемпературных гидротермальных систем областей современного вулканизма для целей разведки//Вулканология и сейсмология. 1988, № 3. С. 91—95.
8. Datuin R., Troucales A. C. Philippine Geothermal Resources: An alternative indigenous Energy//Geol. Survey of Japan Report. 1984. № 263. P. 93—106.
9. Wischow R. P., Gand P. F. Geothermal power development at the Geysers. Proc. 3rd Great PG and Energy Expo, Oakland, 1986. P. 624—631.

Принята редколлегией 21 ноября 1988 г.



ДИСКУССИИ. ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 550.837.21:553.98(470.13)

В. А. ЗЫКОВ (Ухтинский индустриальный институт)

Нужна ли электроразведка при поисках нефти и газа в современных условиях?*

Основной геофизический метод при поисках нефти и газа — сейсморазведка МОГТ. Во всех программных документах — от планов объединений до проектов ГРП по регионам и планов развития отрасли в целом — главная роль отводится сейсморазведке, а развитию других геофизических методов, в частности электроразведке, уделяется крайне мало внимания. В комплексном проекте геологоразведочных работ на нефть и газ на 1986—1990 гг. по

Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции для методов электроразведки лишь в общих чертах определены задачи и районы исследований, но не отмечены важнейшие проблемы их развития, пути повышения эффективности. Основные задачи перестройки организации и проведения нефтегазоразведочных работ также не включают роль и перспективы развития этих методов [9]. Создается впечатление, что электроразведка, выполнив миссию регионального изучения нефтегазоносных районов, не участвует в поисково-разведочном процессе или применяется в ограниченных масштабах, совершенно

* На примере магнитотеллурических методов в Тимано-Печорском НГБ.

не влияя на его эффективность, и поэтому не нуждается в совершенствовании.

Анализ условий применения электроразведки в Тимано-Печорской провинции показывает, что, к сожалению, это действительное положение электроразведки. Такое отношение принижает ее роль в решении актуальных проблем прогноза нефтегазоносности, низводит метод в ранг второстепенных, «низкосортных», не стимулирует приток научных и инженерно-технических кадров, а следовательно, НТП и расширение электроразведочных работ. Не умаляя роли и приоритета сейсморазведки в геофизических работах, мы считаем это необоснованным и недопустимым. Электроразведка должна стать равноправной в комплексе нефтегазоразведочных работ, несмотря на небольшой удельный вес затрат, приходящихся на ее долю. Вместе с тем, резкое снижение эффективности электроразведки в последние годы, ставящее под сомнение целесообразность ее использования, свидетельствует о том, что здесь имеется ряд серьезных проблем, нуждающихся в незамедлительном решении.

На примере анализа истории применения и современного состояния магнитотеллурических методов (МТМ) в Тимано-Печорской провинции рассмотрим проблему подробнее, попытавшись выяснить причины отмеченных явлений, определить условия, реальные пути и средства повышения эффективности их использования.

Комплекс МТМ для изучения геологического строения провинции применяется с 1957 г. (рис. 1). По результатам съемок ТТ выявлено значительное количество аномалий, связанных с неоднородностями осадочного чехла и фундамента, большинство из которых подтверждено результатами сейсморазведки. Эти работы способствовали созданию фонда перспективных структур, открытию новых месторождений нефти и газа. По данным региональных профилей МТЗ, МТП, КМТП освещены глубинная структура и характер сочленения основных тектонических зон региона, что также использовалось при уточнении перспектив нефтегазоносности. Промышленное внедрение в практику цифрового электроразведочного

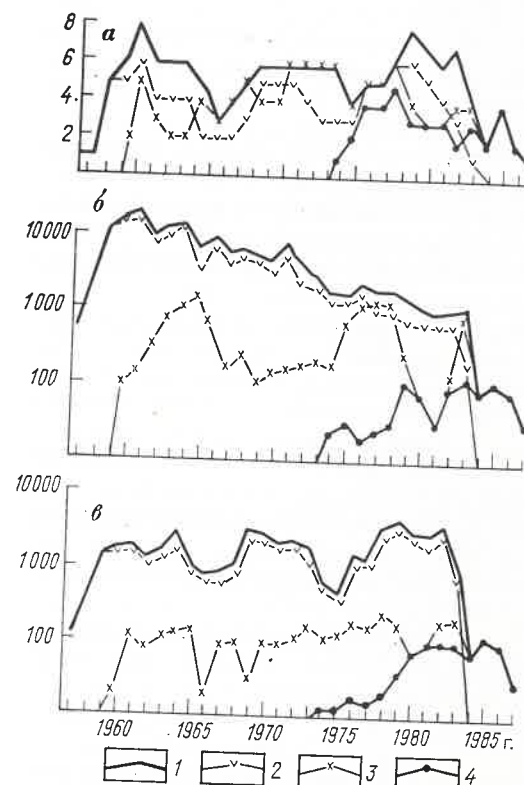


Рис. 1. Диаграммы динамики применения магнитотеллурических методов в Тимано-Печорской провинции в 1957—1987 гг.

а — количество электроразведочных партий, работавших магнитотеллурическими методами; б — объемы работ, км², км, выполненные этими партиями; в — то же, в физических наблюдениях; объемы работ: 1 — общие, 2 — методом ТТ, 3 — методами МТП, МТЗ, КМТП, 4 — выполненные с цифровыми станциями

комплекса, начавшееся в середине 70-х годов, повысило производительность, точность, информативность МТЗ и должно было расширить сферу решаемых с их помощью задач.

Диаграммы динамики применения МТМ, характеризующие изменения качественной структуры магнитотеллурического комплекса, показатели объемов работ по методам и годам (см. рис. 1) позволяют заключить, что тенденции к снижению объемов в последние годы не увязываются с увеличением объемов геофизических работ в двенадцатой пятилетке в 1,5 раза. В одиннадцатой пятилетке выполнено 2467 км² съемки ТТ (с 1984 г. метод не применяется), что в четыре и семь раз меньше объемов соответственно в десятой и девятой пятилетках. Протяженность профилей МТЗ, отработанных в 1981—1985 гг., составила одну треть от таковой десятой пятилетки

и существенно ниже уровня всех предшествующих пятилеток. Объемы работ первых двух лет двенадцатой пятилетки еще ниже.

Ориентируясь на посылку о преобладающем влиянии залежей УВ на особенности МТ-поля, с середины 70-х годов практически все работы методом ТТ и основная часть МТЗ, КМТП выполнялись на юге Ижма-Печорской впадины в комплексе с ВЭЗ, ЗСБ, высокоточной гравиразведкой, сейсмразведкой и др. по методике прямых поисков в масштабах 1 : 50 000 и крупнее. В результате детальность съемки ТТ возросла более чем в 7 раз, а МТЗ, КМТП — в 1,5 раза. Однако общие годовые объемы работ, начиная с 70-х годов, неуклонно снижались, особенно методом ТТ (см. рис. 1).

Увлечение прямыми поисками привело к концентрации здесь основных объемов производственных электроразведочных работ, что отрицательно отразилось на изученности провинции региональными профильными и поисковыми исследованиями, особенно ее глубинного строения и перспектив глубоководных зон. Это тем более не оправдано для районов (Предуральский прогиб и др.), где эффективность сейсмразведки остается пока низкой, а имеется положительный опыт применения электроразведки ТТ — МТЗ.

Промышленное освоение цифрового комплекса предполагало применение ЭВМ. С существованием в ВЦ «Печорагеофизика» машин класса Минск-32 оперативная обработка полевого материала осуществлялась на высоком уровне. Однако геологическая интерпретация выполнялась в основном вручную и не отличалась от таковой в 50-е — 60-е годы. С переходом в конце 70-х годов на ЭВМ серии ЕС электроразведка фактически оказалась без программного обеспечения, поскольку перевод и адаптация программ обработки затянулись на длительный срок. Поэтому в течение одиннадцатой пятилетки, отчасти и по сегодняшний день материалы МТЗ приходилось обрабатывать (причем с немалыми трудностями) в других регионах, где сохранились ЭВМ Минск-32 или БЭСМ-4, 6. Это значительно осложнило процессы обработки, оперативный конт-

роль качества полевого материала и привело к снижению качества интерпретации и информативности результатов при удорожании работ МТЗ. Новые приемы интерпретации, в том числе машинные, не применялись, и уровень геологического истолкования и эффективность по-прежнему оставались невысокими. Фактически единственным достижением было освоение методики трансформации входного импеданса в кривые $S_T = f(H_T)$ [13].

Причина слабой обеспеченности электроразведки высокоэффективным обрабатывающим комплексом — недостаток в подобных практических разработках, а недостаточное внимание к проблеме со стороны Мингео СССР и отсутствие заинтересованной организации, способной осуществить координацию, обобщить опыт различных учебных, научных и производственных предприятий и синтезировать на этой основе единый обрабатывающий комплекс с большим набором программ, отвечающих разному классу задач — модельных расчетов, первичной обработки полевых данных, детерминистических, информационно-статистических методов интерпретации и т. д. Разработка такого комплекса и широкая промышленная эксплуатация позволят поднять электроразведку на качественно новый уровень НТП. Замечательный опыт создания и внедрения подобных комплексов (систем) имеется в сейсмразведке МОГТ (СЦС-3 и др.), что позволяет эффективно использовать ее в ГРР на нефть и газ.

Производственное внедрение системы ЭПАК (ВНИИгеофизика), призванной отчасти решить проблему централизованного программного обеспечения, сильно затянулось, по-видимому, вследствие ориентации на ЭВМ БЭСМ. Опыт обработки по отдельным версиям (КРАССОМЭ, г. Красноярск) этой системы показывает, что она имеет низкий уровень автоматизации, требует больших затрат ручного труда при подготовке данных к интерпретации или дополнения вспомогательными программами. Внедрение системы ЭПАК-ПС в регионе только начинается. Однако и ее освоение решит проблему частично, поскольку она предполагает лишь первичную обработку ма-

териалов.

Отдельные совершенные методы и методики, способы и приемы автоматической обработки и интерпретации МТ-данных, созданные многими научными и производственными организациями страны, чаще всего остаются на уровне экспериментальных, в лучшем случае используются в организациях разработчика и не становятся достоянием промышленного производства, хотя потребность в них огромная.

Анализ проблемы прямых поисков нефти и газа МТ-методами, проведенный нами ранее, позволяет сделать следующие выводы.

Отсутствие фундаментальной теории, описывающей интенсивность и характер аномальных полей, вызываемых залежами, не позволяет оценить разрешающие возможности различных методов, разработать методику, технику измерений и обработки сигналов. Поэтому эффективность таких исследований остается низкой и, несмотря на разработку новых геоэлектрических моделей залежи [3], проблема повсеместного проведения прямых поисков еще далека от решения. Обобщение многолетнего опыта изучения возможностей МТМ для непосредственного прогнозирования залежей на ряде нефтяных, газовых месторождений и разведочных площадей в Тимано-Печорской провинции свидетельствует о том, что залежи УВ отражаются в МТ-поле. Однако отсутствие математической модели аномального поля над залежью, низкий уровень программной обеспеченности этой задачи в регионе не позволили создать практическую методику исследований, обработки и интерпретации данных, чтобы рекомендовать ее для производственного внедрения. Это привело в последние годы к появлению мнения о неэффективности МТМ в комплексе ГРР, а целесообразность применения метода ТТ была поставлена под сомнение, и в 1984 г. его исключили из комплекса.

Рассмотрим, следуя работе А. С. Семенова [10], причины этого явления. Идея использования геофизических методов для прямых поисков полезных ископаемых (узкопоисковое направление) проста и очевидна. Возможность непосредственного решения важнейшей

практической задачи создает привлекательность, популярность и устойчивость узкопоискового принципа. Однако в самой сущности его, начинавшегося с рудной геофизики, есть негативные моменты (ориентация методов лишь на избранные объекты, резко отличающиеся по физическим свойствам; характер методов и ограниченность крупными масштабами работ на стадии между поиском и разведкой и др.), которые иногда становятся барьером при распространении метода на решение структурно-геологических и разведочных задач, сдерживают его применение и развитие. Альтернативная линия в разведочной геофизике, ориентирующая ее использование при широких структурно-геологических исследованиях всех масштабов, составляющих научную основу поисков и разведки, началась с нефтяной геологии. Однако эти негативные положения часто преобладают и в геофизических методах поисков нефти и газа. Так, низкая эффективность МТМ на современном их уровне при решении задач прямого поиска ведет к представлениям о нецелесообразности их использования в ГРР на нефть и газ.

Примером устойчивости узкопоискового принципа в практике электроразведочных работ в рассматриваемой провинции может служить опытно-производственное опробование метода КМТЗ. После того, как был ликвидирован метод ТТ, а поисковые позиции МТЗ во многом утрачены, метод КМТЗ опробовался на задаче прямого поиска в очень сложных геоэлектрических условиях [7]. Из-за отсутствия положительных результатов вопрос об эффективности метода и его производственном внедрении остался открытым, но работы пока прекращены.

Рубеж 70-х — 80-х годов характеризуется переходом к новому этапу геолого-геофизического изучения недр Тимано-Печорской провинции. Главная цель его — поиски и разведка перспективных объектов сложного (неантиклинального) строения. Специфика и сложность задачи требуют совершенствования методики и техники полевых работ, обработки и интерпретации с использованием ЭВМ, повышения детальности, точности и информа-

Число дипломных проектов выпускников-геофизиков Ухтинского индустриального института по различным методам

Год	Общее число	Полевые методы	Сейсморазведка (с комплексными)	Электро-разведка (с комплексными)	МТМ (с комплексными)
1972	36	16	8	15	10
1973	41	24	10	17	8
1974	49	25	8	18	3
1975	38	17	8	10	2
1976	23	17	3	11	—
1977	15	13	5	7	1
1978	22	16	9	6	4
1979	25	14	6	6	—
1980	26	12	10	4	3
1981	21	11	11	4	2
1982*	32	18	15	4	4
1983	26	14	12	6	2
1984	34	22	18	4	3
1985	27	12	11	3	3
1986	30	14	14	1	—
1987	45	18	16	3	2

* С этого года и далее с учетом заочного обучения

тивности методов, внедрения новых эффективных модификаций и оптимизации комплекса ГРП. Если сейсморазведка МОГТ благодаря общим усилиям ЦГЭ Миннефтегазпрома и других организаций имеет уже определенные успехи в этом направлении, то электроразведка к решению данной проблемы в производственных масштабах еще не приступала.

Таким образом, значительное отставание информационного электроразведочного комплекса от требований современного этапа поисков и разведки при концентрации основных производственных объемов МТМ на сложнейших задачах прямых поисков закономерно снижало его эффективность, вызывало недоверие к электроразведке, падение ее престижа и привело к сокращению масштабов МТ-работ (см. рис. 1). Насколько упал интерес геофизиков к электроразведке, можно судить по результатам анализа дипломных работ, выполненных выпускниками геофизической специальности Ухтинского индустриального института, основного поставщика инженерных кадров для региона (таблица). Этому способствовало и соответствующее пе-

рераспределение в учебных курсах объема дисциплин в пользу сейсморазведки.

Все перечисленное выше привело также к диспропорции между объемами МОГТ и МТМ и нарушению принципов рационального комплексирования. В результате при региональных и поисковых работах сейсморазведка опережает электроразведку, которая по существу и задачам должна предшествовать сейсморазведке, направляя и координируя ее размещение и объемы, или применяется самостоятельно на всех этапах ГРП. Отвлечение МОГТ на массовые региональные и поисковые работы, которые могли бы во многих районах, особенно со сложными сейсмогеологическими условиями, проводиться электроразведкой, является одной из главных причин отсутствия достаточного фонда структур.

Эти очевидные положения были сформулированы [1, 10] еще в период становления новых методов электроразведки (МТП, МТЗ, ТТ, ЗС и др.). Указывались также основные факторы, сдерживающие промышленное развитие электроразведки [1]: недоверие к электроразведке, уходящее корнями в тот период, когда она была представлена лишь методом ВЭЗ; несоответствие рекомендаций Мингео СССР по внедрению новых методов реальной технической политике, сопровождаемой пересмотром планов и ассигнований; система разделения партий по категориям затрат, низводящая электроразведку в ранг второстепенного метода и не стимулирующая ее развитие. Такие выводы, полученные на основе анализа данных применения электроразведки в большинстве НГБ СССР, для Тимано-Печорской провинции ранее были не характерны. В 60-е — начале 70-х годов МТМ здесь успешно применялись (см. рис. 1), и ежегодно электроразведкой выявлялось около 20 перспективных аномалий (72 аномалии в 1959—1963 гг., в том числе 58 на новых площадях), которые служили основными объектами детального изучения сейсморазведкой. Отдельные структуры (Курьинская, Патраковская, Рассохинская и др.) были подготовлены под глубокое разведочное бурение детальной электроразведкой в комплексе с гравиметрией и

структурно-колонковым бурением. В резервном фонде к 1970 г. находились более 25 объектов. Именно этот период (1959—1972 гг.) характеризовался наибольшей эффективностью комплекса геофизических работ, когда были открыты и разведаны наиболее крупные месторождения в Коми АССР.

В настоящее время указанные факторы полностью справедливы для МТМ и других методов электроразведки для Тимано-Печорской провинции; они остры и актуальны как никогда. Добавился ряд других научных и практических проблем, связанных со сложностью современного этапа поисков и разведки. В результате в новых условиях хозяйствования электроразведка, имея низкую эффективность и целую гамму нерешенных проблем, может быстро оказаться экономически не выгодной для предприятий. Не случайно, по-видимому, что СГЭ № 10 ПГО «Печорагеофизика», ведущая электроразведочные работы в регионе, уже включает две сейсморазведочные партии, несмотря на существование пяти мощных специализированных сейсморазведочных экспедиций в объединении. На каждый электроразведочный метод (МТЗ, ЗСБ, ЧЗВП, ВЭЗ) осталось здесь по одной партии. Сам по себе такой факт при условии сохранения и наращивания электроразведочных мощностей благоприятствует более гибкому и оперативному комплексированию методов.

Все это, учитывая реальные планы электроразведочных работ в провинции и отсутствие четкой долгосрочной программы совершенствования методов, создает весомые предпосылки для исключения МТМ из комплекса ГРП, как было с методом ТТ. Вопрос, быть или не быть электроразведке в новых условиях, звучит не риторически, а требует детального анализа существующего состояния и решительных мер. В том виде, в котором МТ-разведка применяется в регионе теперь, она действительно может быть убыточной, и в этом смысле ее ликвидация экономически оправдана. С другой стороны, известно, что высокая эффективность сейсморазведки определяется не столько ее преимуществами как геофизического метода, сколько применением на завершающих стадиях ГРП (открытие

и разведка месторождений) и очевидностью эффективности, подготовленной, однако, на всех этапах предшествующих геолого-геофизических работ.

Необходим коренной пересмотр задач, места и роли МТМ в поисково-разведочном процессе — в ориентации их на комплекс структурно-геологических, формационных, прогнозных и других исследований на базе рационального комплексирования с сейсморазведкой и глубоким бурением. И в этом случае непереносимое условие повышения их эффективности — совершенствование методики, повышение качества полевых работ, обработки и интерпретации данных при одновременном снижении стоимости.

Наиболее важными нам представляются методологические аспекты, определяющие стратегию и перспективы применения электроразведки. При таком подходе электроразведка понимается не как автономный (изолированный) метод, решающий отдельные, хотя и важные, задачи прямого поиска в отрыве от актуальных проблем прогноза нефтегазоносности и основных направлений ГРП. Главная задача ее на всех этапах, начиная с регионального — общая ориентация и оперативная корректировка направлений, объемов и размещения сейсмических работ. Высвобождение некоторых объемов МОГТ за счет региональных и поисковых исследований (при эквивалентной замене электроразведочными или комплексными) и концентрации их на разведочной стадии, особенно по эффективным методикам комплексирования с глубоким бурением [2], позволит частично улучшить качество подготовки объектов и, следовательно, повысить эффективность поисково-разведочного бурения. Это открывает дополнительный резерв экономической эффективности электроразведки, помимо эффекта за счет более рационального выявления перспективных объектов и сокращения (перераспределения) объемов МОГТ.

Прямые поиски, а также возможность и необходимость решения МТМ других разведочных задач вовсе не исключаются. Альтернативный узкопоисковому [10] структурно-геологический принцип при поисках нефти и

газа электромагнитными методами заключается в следующем. Залежи УВ, являясь сложными элементами гетерогенной системы НГБ, пространственно и генетически связанными со многими геологическими процессами (тектоническими, седиментационными, миграционными и др.), всегда приурочены к определенным геологическим особенностям разреза регионального и локального характера, нарушающим его геоэлектрическую однородность. Как следствие, геоэлектрические неоднородности отражаются в структуре и интенсивности регистрируемых параметров, если они существенно связаны с исследуемым интервалом разреза. Поэтому, пока нет четкой практической методики прямого поиска, при электроразведочных работах необходимо ориентироваться на отражение не залежей как таковых, а комплекса тех геоэлектрических особенностей, которые контролируют наличие, положение, специфику строения залежей и т. п. Это обеспечит обоснование постановки работ, направленных на непосредственно обнаружение и разведку залежей, позволит более однозначно интерпретировать их результаты. Прямые поиски, таким образом, не исключаются, а лишь находят свое место в общем комплексе ГРР. Необходимо максимально использовать возможности МТМ как для косвенных, так и для прямых поисков. Важным резервом при этом было и остается рациональное комплексирование геофизических методов. По времени проведения и детальности МТМ должны преимущественно предшествовать сейсмическим, координируя и направляя их.

Дальнейшие исследования по проблеме прямых поисков нефти и газа МТМ целесообразно ограничить опытно-методическими работами на небольшом числе экспериментальных объектов — полигонов (месторождениях, разведочных площадях), сосредоточив их на развитии фундаментально-прикладных основ и разработке конкретной практической методики полевых измерений, обработки и интерпретации данных.

В условиях хозяйствования на принципах хозрасчета, в том числе внутрихозяйственного, слабым звеном оста-

ется вопрос о конечной продукции электроразведочных работ. По-видимому, таковой должны быть перспективные геоэлектрические аномалии, передающиеся для подтверждения МОГТ и проверки бурением. Необходимо разработать критерии и условия их передачи. При высокой надежности и подтверждаемости отдельных категорий перспективных аномалий они будут рекомендованы непосредственно для глубокого бурения. В ряде особых случаев следует учитывать и относительную безопасность и экологическую «стерильность» электроразведки, особенно методов естественного электромагнитного поля (сейсморазведка выполняется пока в основном с помощью взрывов).

Таким образом, тесное взаимодействие и оптимальное комплексирование электроразведочных и сейсмических исследований на всех стадиях ГРР значительно повысит эффективность геофизических методов при поисках нефти и газа. При этом комплексирование понимается не столько как проведение работ по единой сети наблюдений и сопоставление результатов, а как возможность использования результатов одного метода другим с целью повышения информативности и надежности интерпретации. Очевидно, лишь при такой постановке основных вопросов возможно решение проблемы развития и повышения эффективности электроразведочных работ.

С этих методологических позиций кратко рассмотрим практические предложения, разработанные и опробованные в условиях Тимано-Печорской провинции и направленные на создание эффективного магнитотеллурического комплекса с учетом современных достижений в области теории и практики МТМ [4—7].

Геологическая эффективность электроразведки в большей степени определяется характером геоэлектрического разреза (ГЭР) территории и детальностью его изучения. Поэтому детальные представления о ГЭР необходимы уже на стадии проектирования. С достаточной полнотой и надежностью они могут быть получены по результатам электрометрии скважин. Комплексное использование результа-

тов каротажа и полевой электроразведки весьма перспективно, поскольку в их основе содержится изучение одного физического параметра — электрического сопротивления пород, что особенно актуально в связи с системным подходом в интерпретации, предполагающим взаимную увязку и корректировку всего комплекса геофизических данных.

Для обоснования обобщенной модели, уточнения моделей ГЭР в различных тектонических зонах провинции, оценки геоэлектрических условий отдельных районов была предложена и реализована на ЭВМ методика автоматизированного нахождения основных параметров ГЭР [4, 5], опробованная более чем на 300 глубоких скважинах. Полученные геоэлектрические параметры используются для расчетов теоретических кривых МТЗ, моделирования, что обеспечивает высокую надежность и точность машинной интерпретации результатов зондирования на базе математических моделей электромагнитных полей, максимально приближенных к условиям фактического разреза. Результаты практического использования данных обработки с целью повышения геологической эффективности электроразведки рассмотрены на примере комплекса МТМ [5].

Массовый корреляционный анализ [4] между полем ТТ и рельефом основных сейсмогеологических границ от поверхности фундамента до кровли карбонатной толщи P_1 — С позволил уточнить и дополнить схему геоэлектрического районирования региона, которая служит основой целенаправленного планирования электроразведочных работ, а также показал возможности корреляционных методов трансформации [12] при интерпретации МТ-данных. Реализация методики корреляционных преобразований результатов ТТ на ЭВМ [6] с привлечением эталонных данных бурения, сейсморазведки и МТЭ позволила провести прогнозирование глубинной структуры отдельных площадей и тектонических зон. Прогнозная структурная карта фундамента одного из регионов построена на ЭВМ и представлена без сглаживания и корректировки в пикативном варианте (рис. 2). По анало-

гичной методике была составлена прогнозная карта фундамента Верхнепечорской впадины Предуральяского прогиба — основного газодобывающего центра в Коми АССР, что позволило существенно уточнить представление о ее глубинной структуре и наметить основные направления дальнейших ГРР.

Высокое разрешение, детальность и надежность трассирования, классификации разрывных дислокаций, включая зоны надвигов, а также других линейных неоднородностей типа контакта, аппроксимирующих зоны рифобразования, выклинивания, повышенной трещиноватости и др., получены [6] с помощью дифференциально-алгебраических трансформаций поля ТТ. Эти данные очень важны в высокоперспективных районах со сложными сейсмогеологическими условиями для оптимального размещения объемов дальнейших работ МОГТ.

Таким образом, применение методов математической статистики и ЭВМ в комплексной интерпретации МТ-данных с привлечением опорных и эталонных материалов сейсморазведки и бурения открывают новые перспективы эффективного использования электроразведки при прогнозировании глубинного строения и оценке нефтегазоносности нижнепалеозойского разреза на региональной и поисковой стадиях. Методика корреляционных преобразований результатов МТЗ, ЗСБ, примененная в других регионах [11], повысила эффективность сейсморазведки. Улучшение качества материалов электроразведки в высокочастотном интервале и разработка специальных приемов их оперативной обработки позволяют получать важные сведения о верхней части разреза, необходимые для более достоверной интерпретации МОГТ.

Развитие теории и практики МТ-исследований на моделях горизонтально-неоднородных сред, внедрение практических способов интерпретации с помощью нормирования на внутреннее магнитное поле [8] обеспечили возможность выявления и изучения локальных геоэлектрических неоднородностей, моделями которых аппроксимируются неантиклинальные объекты. Анализ и учет искажений МТ-поля горизонтальными неоднородностями требуют вы-

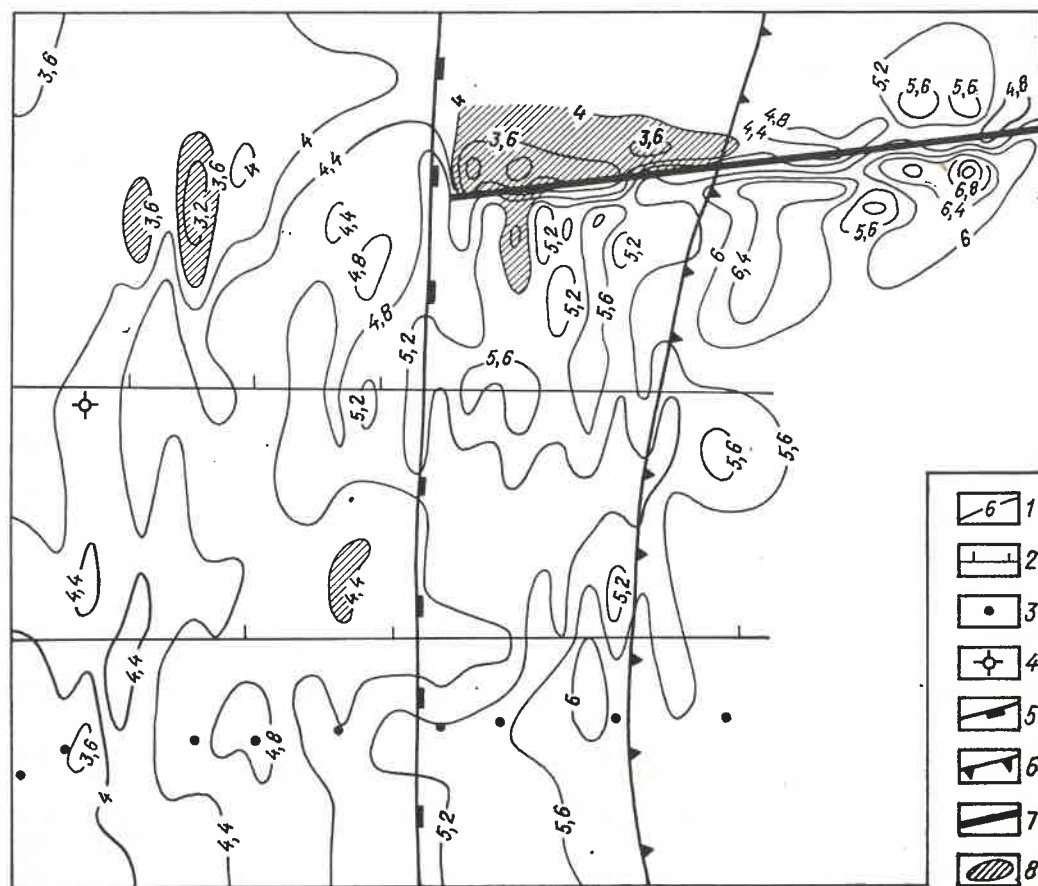


Рис. 2. Прогнозная структурная карта поверхности фундамента Западно-Дутовской площади, построенная на ЭВМ по данным корреляционных методов трансформации результатов МТЗ, МТЗ, ТТ: Основные параметры прогноза: изотропная трансформанта, порядок прогнозного трансформационного многочлена — 2, радиус трансформации — 4 км, коэффициент корреляции между прогнозной остаточной составляющей поля ТТ и глубиной до фундамента — 0,798, ошибка прогноза — 0,38 км, количество эталонных точек — 120; 1 — изолинии глубин

полнения синхронных МТЗ — КМТЗ. Этот метод характеризуется низкой производительностью и дороговизной, что тормозит его промышленное внедрение.

Как показывают теоретические расчеты в условиях ГЭР Тимано-Печорской провинции, толщина скин-слоя на периодах 10 с не менее 5 км. Следовательно, для практических целей можно ограничиться в МТЗ (КМТЗ) вариациями высоко- и среднечастотных диапазонов, что сократит время записи и обработки в 3—4 раза. Благодаря легкости, простоте и высокой производительности наиболее распространен в практике МТМ был метод

фундамента, км; 2 — сейсмические профили, используемые в качестве эталонных; 3 — пункты МТЗ, используемые в качестве эталонных; 4 — эталонная скважина (Северный Савинобор), вскрывшая фундамент; тектонические границы: 5 — западная граница Верхнечорской впадины Предуралья; 6 — западная граница Изныр-Лунновского погребенного вала; 7 — тектоническое нарушение, предполагаемое по магнитотеллурическим данным; 8 — участки приподнятого залегания поверхности фундамента, перспективные на поиски нефти и газа

ТТ (см. рис. 1). Раздельный анализ теллурической и магнитной компонент по результатам работ КМТЗ [7] показал, что метод ТТ, учитывая его техническое перевооружение на цифровую запись, не исчерпал своих возможностей. Ограничения количественной интерпретации могут быть компенсированы использованием опорных данных ОГТ и методов корреляционных преобразований. Поэтому была предложена методика [7], оптимально сочетающая точность, разрешение, информативность КМТЗ и производительность, простоту, дешевизну ТТ. Она базируется на оптимальных (целевых) частотах, позволяет уверенно

локализовать и изучать горизонтальные неоднородности практически без потери информативности при увеличении производительности полевых работ в 2—5 раз и более; время обработки сокращается в 2 раза по сравнению с КМТЗ. Предложенная вспомогательная программа обработки, полностью автоматизирующая процесс получения и подготовки к интерпретации всех необходимых параметров, дает возможность сократить ее более чем в 2 раза при повышенной точности результатов и расчете новых эффективных параметров. Анализ модельного и экспериментального материалов, статистические методы интерпретации [14] позволяют конкретизировать методику работ целевыми частотами, повысить качество и информативность результатов.

Проблема поисков и подготовки к бурению сейсморазведкой неструктурных ловушек связана со сложными задачами сеймостратиграфического и сейсмофациального анализа, ПГР и другими вопросами. Это требует совершенствования МОГТ, применения сложных систем наблюдений, усложненных графов обработки и ведет к его удорожанию. Следовательно, для целевого планирования работ МОГТ очень важны априорные сведения об объектах, которые могут быть получены по данным опережающей электроразведки. Ее задача — наметить наиболее перспективные направления поиска неструктурных ловушек для изучения сейсморазведкой, рационально распределив объемы МОГТ.

Другой важный стимул комплексирования сейсморазведки и электроразведки на разведочном этапе — возможность классификации и приоритетной оценки для ввода в бурение сейсмических структур по критерию предполагаемого наличия залежи. Эта идея заключается в расчете ожидаемой МТ-аномалии над сейсмической структурой с известными параметрами (размерами, глубиной залегания, амплитудой и т. д.) и сравнении расчетной «структурной» аномалии с наблюдаемыми данными. Реализация ее осложнена необходимостью выполнения строгих теоретических расчетов. С применением корреляционного метода трансформации она вполне реальна,

поскольку при известной структуре данным методом просто выделить компоненту поля, обусловленную ею. Появление существенной остаточной аномалии при их сравнении означает, что в пределах объекта локализуется другой, «неструктурный» источник аномального поля. Подобная разбраковка сейсмических объектов повысит надежность их выделения, а следовательно, успешность поисков и эффективность разведочного бурения.

Комплексные исследования по прогнозированию линейно-очаговых зон тектонического разуплотнения (повышенной трещиноватости и проницаемости) карбонатных коллекторов и покрышек показали их важное практическое значение при разведке и эксплуатации нефтяных месторождений, особенно высоковязких нефтей. По результатам этих работ по Усинскому месторождению (рис. 3) установлено, что в зонах разуплотнения наблюдается резкая изменчивость электрических свойств пород в широком стратиграфическом диапазоне, обусловленная интенсивной вертикальной миграцией по ним УВ и взаимодействием их с породами. Электрическая дифференциация пород в таких зонах, а также их генетическая связь с глубинными долгоживущими разломами в фундаменте создают благоприятные предпосылки для трассирования их электроразведкой, что открывает возможности привлечения ее на стадиях детальной разведки и разработки месторождений. Нами была предложена комплексная методика прогнозирования субвертикальных зон тектонического разуплотнения, включающая крупномасштабные МТ-исследования и обработку данных стандартной электрометрии скважин (см. рис. 3). Экспериментальные данные МТЗ, КМТЗ [7] подтверждают надежность выделения субвертикальных зон изменения проводимости в регионе.

Резюмируя изложенное и отвечая на вопрос, поставленный в заголовке статьи, несомненно, положительно, можно сделать следующие выводы.

Магнитотеллурические методы с учетом благоприятных геоэлектрических условий в Тимано-Печорской провинции, далеко не исчерпали своих возможностей, могут и должны решать

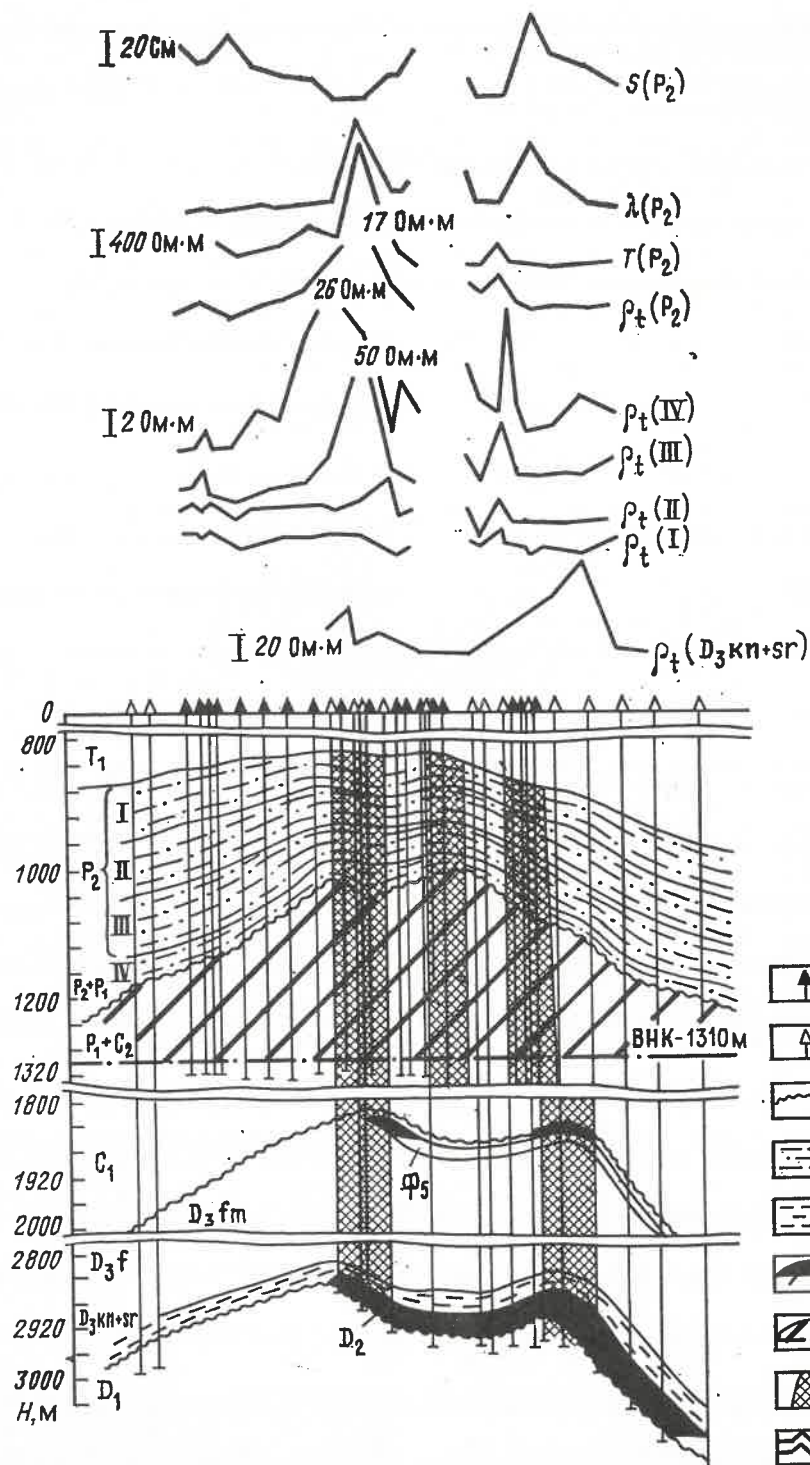


Рис. 3. Результаты прогнозирования субвертикальных зон повышенной трещиноватости в разрезе Усинского местонахождения по данным обработки на ЭВМ стандартной электротометрии скважин:
I—IV — толщи; скважины, пробуренные: 1 — на пермо-карбонную залежь; 2 — на среднедевонскую залежь; 3 — линии размыва; 4 — глинисто-алеувитовая толща верхней перми; 5 — глинистая кыновско-саргаевская толща; 6 — залежи легкой нефти; 7 —

залежь тяжелой высоковязкой нефти; 8 — зоны повышенной трещиноватости по геолого-геофизическим и промысловым данным; 9 — электрические параметры по данным обработки электротометрии скважин: ρ_t — среднее поперечное сопротивление (Ом·м), S — суммарная продольная проводимость (См), T — суммарное поперечное сопротивление (Ом·м²), λ — коэффициент электрической анизотропии; в скобках — толщи, для которых рассчитаны параметры

многие практические задачи нефтегазовой геологии на всех этапах ГРП от региональных исследований до детальной разведки месторождений.

Сохранение МТ-разведки в комплексе ГРП, повышение эффективности и наращивание объемов возможны при ориентации ее на решение разнообразных структурно-геологических задач прогноза нефтегазоносности и на базе рационального комплексирования с сейсморазведкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский М. Н., Фомина В. И. Промышленное применение методов структурной электроразведки//Прикладная геофизика, 1966. Вып. 47. С. 63—73.
2. Вассерман Б. Я., Матвеевская Н. Д., Ростовщиков В. Б. Методика и эффективность комплексирования детализационной сейсморазведки с глубоким бурением//Геология нефти и газа. 1986. № 10. С. 10—16.
3. Дмитриев А. Н. Геоэлектрическая модель среды с поляризованной залежью углеводородов//Разведочная геофизика. 1981. Вып. 93. С. 100—106.
4. Зыков В. А. Геоэлектрические предпосылки и возможности поисков органогенных построек в Тимано-Печорской провинции//Изучение рифогенных структур геофизическими методами. Пермь, 1981. С. 26—27.
5. Зыков В. А., Хозяинов С. Г. Повышение надежности и точности интерпретации МТЗ использованием результатов обработки на ЭВМ электротометрии скважин//Автоматизация приемов обработки геофизической информации при поисках нефти и газа. Пермь, 1986. С. 37—39.
6. Зыков В. А., Хозяинов С. Г., Жарков В. А.
7. Зыков В. А., Зыкова Т. Н. Результаты опробования и перспективы метода КМТЗ на объектах рифогенной природы в Печорской синеклизе//Поиски и разведка геофизическими методами неструктурных залежей нефти и газа. Пермь, 1987. С. 34—35.
8. Обухов Г. Г., Чернявский Г. А., Яковлев И. А. Магнитотеллурическая разведка в нефтеперспективных районах СССР.— М.: Недра, 1983.
9. Салманов Ф. К. Основные задачи перестройки в организации и проведении нефтегазоразведочных работ//Сов. геология, 1988. № 2. С. 3—9.
10. Семенов А. С. К истории разведочной геофизики//Вопросы геофизики, 1977. Вып. 26. С. 3—11.
11. Фукс И. Б., Пашевин А. М. Повышение эффективности сейсморазведочных работ на основе применения корреляционного анализа в Непско-Ботуобинской антеклизе//Геология нефти и газа, 1987. № 9. С. 18—23.
12. Шрайбман В. И., Жданов М. С., Витвицкий О. В. Корреляционные методы преобразования и интерпретации геофизических аномалий.— М.: Недра, 1977.
13. Яковлев И. А., Шейнкман А. Л., Сысоев Б. К. Количественная интерпретация МТЗ с использованием кажущейся проводимости разреза и эффективной глубины проникновения электромагнитного поля//Прикладная геофизика. 1975. Вып. 79. С. 128—134.
14. Яновская Т. Б., Порохова Л. Н. Обратные задачи геофизики.— Л.: Недра, 1983.

Принята редколлегией 27 июня 1988 г.

**Вниманию руководителей
научно-исследовательских
и проектных институтов
и организаций, научно-
производственных
и производственных
геологических объединений,
ректоров институтов
и университетов!**

Редакция журнала «Советская геология» принимает заявки на публикацию в 1990 г. различных рекламных объявлений.

В заявке необходимо указать возможное количество рекламных объявлений, предполагаемые сроки передачи материала в редакцию, его характер и желательное оформление (черно-белое, в два цвета, наличие фотографии или рисунка и т. п.).

Предварительное получение заявки с последующим заключением договора гарантирует заказчику своевременную публикацию рекламы при высоком качестве ее полиграфического исполнения.

**Заявки просим направлять по адресу:
123812, Москва, Бол. Грузинская, 4/6
Телефон для справок 254-29-56**

ГРАНИТОГОРСКИЙ

технологический комплекс

НПО «Казрудгеология» предлагает геологическим организациям, горноперерабатывающим и другим предприятиям услуги в области технологии переработки минерального сырья.

Комплекс проводит

полупромышленные испытания технологических схем комплексной переработки минерального сырья;

заводские испытания нового технологического оборудования;

испытания в непрерывном режиме созданных систем полного водооборота;

анализ вещественного состава минерального сырья, продуктов его переработки, промышленных сточных вод, почв.

На полупромышленных и укрупненно-лабораторных установках по обогащению и металлургии воспроизводится большинство современных прогрессивных комбинированных схем безотходной, комплексной переработки минерального сырья, включая нетрадиционное (глубоко измененные рудосытные коры выветривания и др.).

Объекты деятельности комплекса — схемы переработки руд цветных (свинец, цинк, медь, олово, никель, сурьма, алюминий), редких (тантал, ниобий, вольфрам, молибден, титан, цирконий, висмут, стронций, бериллий, литий, кобальт, цезий, рубидий), благородных (золото, платина, серебро) и черных металлов, алмазов, редкоземельных элементов иттриевой и цериевой групп, неметаллорудного сырья (сера, барит, плавиковый шпат, корунд, кварц, слюсные коры выветривания и др.).

Конечные результаты работ — технологические схемы и их режимные параметры, используемые для разработки ТЭО кондиций и утверждения запасов но-

вых месторождений, выдачи исходных данных на проектирование горноперерабатывающих предприятий, внедрения новых технологий в промышленность.

По результатам технологических испытаний, выполненных комплексом, на баланс страны принято более 40 месторождений твердых полезных ископаемых, в их числе крупнейшие и уникальные.

НПО «Казрудгеология» установлены умеренные (ниже среднеотраслевых) цены на проведение работ.

Научное обеспечение современного уровня работ комплекса осуществляют отделы технологии минерального сырья, физико-химических методов исследований и минералогии КазИМСа.

Заказы выполняются на договорной основе. Высокое качество полупромышленных испытаний и проведение их в установленные сроки гарантируются.

Комплекс расположен в одном из живописнейших уголков Киргизского хребта, вблизи оживленных трасс Алма-Ата — Ташкент, Фрунзе — Ташкент, аэропорта Манас, в 90 км от Фрунзе, в 30 км от крупного районного центра г. Мерке, в 12 км от железнодорожной станции Чалдовар, где находится собственная прирельсовая база. Для представителей заказчика и научных кураторов созданы нормальные жилищно-бытовые условия.

Наши адреса:

480091, г. Алма-Ата, ул. К. Маркса, 105, НПО «Казрудгеология».

485523, Джамбулская обл., Меркенский р-н, пос. Гранитогорск, Гранитогорская опытно-методическая экспедиция.

Для телеграмм: Гранитогорск-23, Меркенский район Джамбулской области.

Телефоны для справок в г. Алма-Ате: 61-30-92, 40-05-54.

Contents

METHODOLOGY, ECONOMICS, MANAGEMENT

- Katinko M. K.
Technogeology: urgency and first priority trends of development 3
Denisov M. N.
The purpose of different classes reserves of mineral deposits 11

ENERGY RESOURCES

- Loravskiy E. K.
On the casual drilling in oil and gas regions 14
Smirnov B. V.
Urgent problems of geology and of exploration of coal deposits 21

METALLOGENY

- Tikhonova V. A.
On the ring metallogenic zonation of Precambrian plateaus 26
Goryainov I. N., Apolonov V. S., Apolonov S. V.
A new aspect of metallogenic prospects of the Northeast of the Siberian Platform 31

METALS AND NON-METALS

- Sukhomskiy M. L.
The classification of metallic deposits and typical layouts of searches in depth geological mapping 37
Kaminskii V. G.
An integral geological prospecting model of copper-porphyry deposit of the Balmiskaya zone 46

REGIONAL GEOLOGY AND TECTONICS

- Garbat D. I., Frolov O. V., Ponom V. V., Kabanov L. G.
Geological environment of the principal

- stages of evolution of the territory of the Northwest of the USSR 57
Mikhailov Yu. A., Shlezinger A. E.
Relative sea level fluctuations and con- sedimentation tectonics 68

STRATIGRAPHY AND PALEOGEOGRAPHY

- Kirichkova A. I., Timoshina N. A., Men- shikova N. Ya.
Phylostratigraphy of Jurassic deposits beneath Mangyshlak Peninsula 73

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- Mishin L. F.
Structural mapping of volcanic-plutonic complexes 82
Konoplev A. D., Maslennova M. F.
Lithologic and facies and mineralogic-geochemical features of deposits lying beneath paleovalleys 89

GEOPHYSICS AND DEPTH STRUCTURE

- Akhramovskiy I. I., Mady P. A., Efre- mova N. A.
Gravity prospecting in large-scale geological additional studies of mining regions 96

GEOCHEMISTRY

- Gulyuk S. V.
The technology of modelling of indication geochemical field around mineralization 103

HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

- Shupin A. A., Borenskiy L. V., Oskupen- ko S. V., Otman N. S.
Steam hydrothermal problems of studying and commercial development 111

DISCUSSIONS

- Zukov V. A.
Is electrical prospecting required in searching oil and gas today? 116