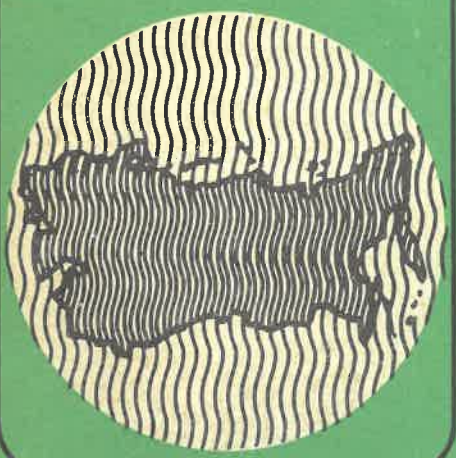
СОВЕТСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

ISSN 0038-5069

11/1985



Ежемесячный
научный журнал

Да здравствует 68-я годовщина
Великой Октябрьской социалистической революции!

Советские ученые!
Вы находитесь на передовой линии борьбы
за ускорение научно-технического прогресса!
Страна ждет от вас новых
научно-технических разработок высокой эффективности!

(Из Призывов ЦК КПСС)

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

СОВЕТСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

11 / 1985

Ежемесячный научный журнал
Орган Министерства геологии СССР
Основан в 1933 году

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор В. М. ВОЛКОВ

Т. В. Билибина, В. А. Вахрамеев, Д. А. Венков, А. М. Властовский, В. Г. Гарьковец, А. А. Геодекян, М. В. Голицын, И. С. Грамберг, С. В. Григорян, М. Н. Денисов, А. Н. Еремеев, В. А. Ерхов, А. И. Жамойда (зам. главного редактора), *А. Н. Золотов, Г. А. Израилева* (зам. главного редактора), *А. Б. Каждан, Ю. Б. Казмин, Е. А. Козлов, Н. Э. Краснова* (отв. секретарь), *Л. И. Красный, А. И. Кривцов, А. И. Лисицын, Н. В. Межеловский, В. Д. Наливкин, В. А. Нарсеев, В. А. Низьев, Л. Н. Овчинников, В. Н. Полуэктов* (зам. главного редактора), *Н. Н. Предтеченский, Д. А. Родионов, Е. И. Семенов, В. В. Семенович, Л. Н. Смирнов, В. С. Сурков, К. И. Сычев, М. А. Фаворская, А. С. Филько, А. Л. Яншин, В. А. Ярмолюк*

МОСКВА, «НЕДРА»

© Издательство «Недра»,
«Советская геология», 1985

Содержание

Козловский Е. А.
Геология в народном хозяйстве . . . 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ГЕОЛОГИИ

Кривцов А. И., Волчков А. Г., Мигачев И. Ф., Минина О. В., Отон Х.
Система «прогноз—поиски—оценка» для месторождений цветных металлов . . 14

МЕТОДОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ

Кабышев Б. П., Чупрынин Д. И.
Методика прогнозных исследований в освоенных нефтегазоносных регионах 20
Бурова Е. М., Малов В. М., Сидоренко Г. А., Щедрин Б. М.
Автоматический качественный фазовый анализ минеральных смесей с помощью ЭВМ 30

ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ

Калинин Н. А.
К вопросу о происхождении нефти и газа 34
Нестеров В. Н.
О причинах образования восстановленных углей 38

РУДНОЕ И НЕРУДНОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

Архангельская В. В.
Редкометальные месторождения в щелочных метасоматитах 41
Иванкин П. Ф., Иншин П. В., Назарова Н. И.
Особенности отложения золота в черносланцевых зонах 52

СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

Папулов Г. Н., Эдигер И. С.
Корреляция меловых отложений Урала и Западно-Сибирской плиты 60
Федорова Т. И., Щекочихина В. М.
Новое в стратиграфии девона Саратовского Поволжья 68

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА

Сеславинский К. Б.
Сопоставление режима развития платформ и обрамляющих их подвижных поясов 70
Стрельников С. И.
Анализ структуры Сетте-Дабана и сопредельных территорий по космическим снимкам 81

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

Гречухин В. В., Воевода Б. И., Дараган В. Н., Савченко А. В., Иванов Л. А.
Петрофизические исследования угленосных отложений Донецкого бассейна . . 89
Доминиковская Д. А., Вахрушев В. А.
Геологическая позиция и рудоносность габброидов докембрия Белоруссии . . 102

ГЕОФИЗИКА И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ

Попов Б. А., Рыжий Б. П.
Геофизические исследования при прогнозе, поисках и разведке месторождений рудных полезных ископаемых . . 109
Мкртчян О. М., Белкин Н. М., Дегтев В. А.
Сейсмогеологическое обоснование единой схемы корреляции продуктивных шельфовых пластов неокома Среднего Приобья 115

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Рабинович А. А., Попков В. И., Михайленко Н. И., Паламарь В. П.
Гидрогеологические особенности доюрского разреза Южного Мангышлака 122

Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*
Технический редактор *Е. В. Воробьева*
Корректор *В. А. Бобринская*

Сдано в набор 24.09.85. Подписано в печать 21.10.85. Т-20089. Формат 70×108 1/16.
Печать высокая. Усл. печ. л. 11,2. Усл. кр.-отт. 11,72. Уч.-изд. л. 13,27.
Тираж 3160 экз. Заказ № 486.

Адрес редакции: 123812 ГСП, Москва, Бол. Грузинская, 4/6
Телефон 254-29-56
Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ

Е. А. КОЗЛОВСКИЙ, министр геологии СССР

ГЕОЛОГИЯ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ*

Среди многих задач современной геологии основными, имеющими огромное экономическое и социальное значение, являются:

— комплексное изучение планеты Земля — ее строения, происхождения и развития в сопоставлении с другими планетами Солнечной системы, что важно не только для геологии и горнодобывающего производства, но и для многих других, если не всех, отраслей науки и народного хозяйства;

— выявление и изучение всего комплекса необходимых человечеству минеральных ресурсов, подготовка их к промышленному освоению. Особое значение имеет разведка запасов минерального сырья для удовлетворения потребностей в энергии и для повышения продуктивности сельского хозяйства, другими словами, для решения актуальнейших проблем современного мира — энергетической и продовольственной;

— инженерно-геологическое обеспечение строительства, особенно крупномасштабного, решающим образом влияющего на преобразование природы;

— активное участие в разработке и осуществлении мер по охране природы, сохранению нашей планеты и богатств ее недр.

Научно-техническая революция, охватившая практически все промышленно развитые государства мира, привела к огромному потреблению полезных ископаемых. Электрификация, химизация и автоматизация производства, самолетостроение, космическая техника, радиотехническая, электронная и другие отрасли промышленности, сельского хозяйства и связи базируются на использовании огромных количеств разнообразных минеральных ресурсов. Новые отрасли промышленности, науки и техники потребовали выявления и добычи новых видов минерального сырья, в частности руд радиоактивных и редких металлов.

Особенно велики масштабы потребления энергетических ресурсов — нефти, газа, угля; увеличивается потребность в атомном сырье, а также в минеральных строительных материалах. Мировая добыча нефти достигла 2,8—3 млрд. т, газа — почти 2 трлн. м^3, выпуск товарного угля составляет свыше 3,7 млрд. т. Из добытых за последние 100 лет 150 млрд. т угля на последние 20 лет приходится 90 млрд. т или 60 %.

Научно-техническая революция, вызвав, с одной стороны, огромное потребление минерального сырья, а с другой — обнажила объективную реальность того факта, что запасы полезных ископаемых невосполнимы, богатые источники минерального сырья, особенно в хорошо освоенных районах и на небольших глубинах ограничены. Это предопределило необходимость, а научно-технический прогресс обеспечил возможность активизации геологоразведочных работ и освоения новых месторождений в отдаленных, труднодоступных и малонаселенных районах, в более сложных горно-геологических условиях и на глубоких горизонтах. Это, в свою очередь, привело к закономерному росту стоимости разведки, добычи и переработки минерального сырья.

Во всех странах мира осуществляются меры по экономии минеральных ресурсов, замене более дефицитных их видов менее дефицитными, поиски заменителей некоторых продуктов переработки минерального сырья, а также использование вторичных ресурсов. Однако эти меры лишь несколько снижают остроту минерально-сырьевых проблем, но не ликвидируют их.

В настоящее время проблема обеспечения минерально-сырьевыми ресурсами — одна из сложнейших экономических, да и политических, проблем современного мира. Неравномерное распределение полезных ископаемых по странам и континентам, обусловленное как объективными геологическими причинами, так и неодинаковой степенью их геологической изученности, исчерпание или значительное сокращение запасов в старых горнодобывающих районах, рост цен на минеральное сырье в условиях большого спроса на него вызывают в мире сложные экономические, а подчас и политические конфликты.

* Доклад в Центральном лектории Всесоюзного общества «Знание» 6 июня 1985 г.

В Советском Союзе геологическому изучению территории страны, поискам и разведке полезных ископаемых придается большое значение. Еще в трудные дни 1918 г. В. И. Ленин в работе «Набросок плана научно-технических работ»* сформулировал принципы, которые легли в основу создания и использования минерально-сырьевой базы страны: рациональное размещение промышленности с учетом близости сырья; сосредоточение производства в немногих крупнейших предприятиях; обеспечение возможности самостоятельно снабдить себя всеми главнейшими видами сырья и промышленности. Указанные принципы и сегодня столь же актуальны, как и 67 лет назад. В. И. Ленин глубоко верил в наличие в России огромного экономического потенциала и уже в первые месяцы после победы Великого Октября принимал энергичные практические меры к выявлению и умножению минерально-сырьевых ресурсов.

Следуя заветам В. И. Ленина, Коммунистическая партия и Советское правительство на всех этапах социалистического строительства придавали большое значение развитию геологоразведочных работ.

В годы восстановления разрушенного первой мировой и гражданской войнами народного хозяйства и предвоенных пятилеток перед Советским государством стояли сложные задачи по развитию черной и цветной металлургии, увеличению добычи угля и нефти, созданию химической промышленности, осуществлению ленинского плана электрификации страны. Для выполнения широкой программы развития и реконструкции народного хозяйства необходимо было увеличить объемы и значительно расширить фронт геологоразведочных работ с целью укрепления сырьевой базы горнодобывающих отраслей промышленности. Состоявшийся в 1930 г. XVI съезд ВКП(б) четко сформулировал задачу, ставшую для советских геологов законом и ведущим принципом при планировании и проведении работ: «Обеспечение развития народного хозяйства выдвигает необходимость придать такие темпы геологоразведочному делу, которые должны значительно опередить темпы развития промышленности с целью заблаговременной подготовки минерального сырья.»* В результате геологоразведочных работ, проведенных в 20-е и 30-е годы, коренным образом изменились представления о богатстве недр страны. За 20 лет Советской власти, ко времени проведения у нас в стране XVII сессии Международного геологического конгресса, разведанные запасы нефти увеличились в 6 раз, угля — в 7 раз, железных руд — в 5,5 раза, хромовых руд, свинца и цинка — в 9 раз, марганцевых руд — в 4 раза, меди — в 27 раз. Значительно возросла по сравнению с дореволюционной добыча полезных ископаемых, в частности нефти — в 3 раза.

В период Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. потеря важных источников сырья в связи с временной оккупацией фашистскими захватчиками западных районов и перебазирование промышленности на восток обусловили необходимость всемерного увеличения ресурсов минерального сырья за счет недр Урала, Сибири, Дальнего Востока, Средней Азии. Нужно было в предельно короткие сроки выявить и разведать новые месторождения минерального сырья, прежде всего стратегического. Советские геологи с честью справились с возложенными на них задачами. Это позволило обеспечить сырьем заводы, перебазированные в восточные районы и вновь построенные, снабжавшие фронт вооружением, боеприпасами и топливом.

Геологическая служба СССР. В послевоенный период перед геологической службой была поставлена задача не только обеспечить необходимое расширение минерально-сырьевых баз действующих и строящихся предприятий, но и создать резерв для значительного развития нефтяной и газовой промышленности, добычи угля, производства черных и цветных металлов, минеральных удобрений, строительных материалов. Важной задачей стали поиски источников минерального сырья для новых отраслей промышленности, созданных после войны,— атомной, электронной, космической и др.

Эти задачи не могли быть решены на прежней организационной, научно-методической и технической основе. В результате принятых Коммунистической партией и Советским правительством мер была существенно укреплена организационная структура геологической службы, повысились ее техническая оснащенность и научный потенциал, быстрыми темпами возрастали объемы геологоразведочных работ. В 1950 г. против 1940 г. они увеличились в 10 раз, а в настоящее время превышают объемы 1950 г. более чем в 27 раз.

Ведущим звеном в изучении земных недр является Министерство геологии СССР, выполняющее более 70 % объемов геологоразведочных работ в стране. Оно отвечает за состояние и развитие геологического изучения страны, научно-технический прогресс в отрасли и за наиболее полное обеспечение потребностей народного хозяйства в разведанных запасах минерального сырья. Министерство обеспечивает планомерное изучение недр страны, разрабатывает с участием заинтересованных министерств и ведомств основные направления развития минерально-сырьевой базы и геологоразведочных работ по стране в целом, передает другим министерствам разведанные месторождения полезных ископаемых для проектирования и строительства на их базе горнодобывающих предприятий.

В составе Министерства геологии СССР 80 производственных геологических, научно-производственных и промышленных объединений и 40 научно-исследовательских институтов и опытно-конструкторских бюро. Оно руководит геологоразведочными работами через министерства и управления геологии союзных республик. В его систему входят министерства геологии РСФСР, Украинской ССР, Казахской ССР и Узбекской ССР и одиннадцать управлений геологии других союзных республик. Объединения, ответственные за развитие аэрокосмических и гидрогеологических исследований, морских геологоразведочных работ, разработку и производство новой геологоразведочной техники, ускорение научно-технического прогресса в области геофизических работ на нефть и газ и твердые полезные ископаемые, находятся в прямом подчинении Министерству геологии СССР. Для оказания технического содействия в изучении недр другим странам и выполнения геологоразведочных работ за рубежом создано объединение «Зарубежгеология». Развитие важнейших направлений геологических наук осуществляется во всесоюзных научно-исследовательских институтах. Научные исследования, связанные с изучением отдельных регионов, поручены региональным геологическим институтам.

Министерство геологии СССР работает в тесном контакте с геологическими службами горнодобывающих министерств, с Академией наук СССР и ее геологическими институтами, что позволяет разрабатывать оптимальные направления развития минерально-сырьевой базы, быстрее внедрять в практику прогрессивные методы геологического, геофизического и геохимического изучения недр, широко применять космические средства выявления природных ресурсов Земли.

К настоящему времени территория страны практически полностью покрыта среднемасштабными (1 : 200 000) геологическими съемками. В масштабах 1 : 50 000 и крупнее заснята почти третья часть ее территории, важнейшие горнопромышленные районы изучены в этих масштабах на 70—80 %, а некоторые из них полностью. Важно подчеркнуть, что изучение геологического строения огромной территории страны проведено на единой научной и методической основе, с использованием новейших достижений геологических наук и технических средств.

Геологи стали крупнейшими потребителями аэрокосмической информации, широко используют дистанционные методы исследований — многоспектральные, тепловые, радиолокационные и др. Следует отметить, что дистанционные исследования из космоса дают новый обильный материал для распознавания строения континентов и океанов.

* В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 36, с. 228—231.

* КПСС в резолюциях и решениях съездов, конференций и Пленумов ЦК. Изд. 8-е, т. 4, 1927—1931. М., Изд-во политической литературы, 1970, с. 442.

Для современного этапа развития геологических наук характерен принципиально новый подход к оценке роли глубинных факторов в формировании земной коры, ее тектонической структуры и образования полезных ископаемых. В связи с этим весьма важен переход к систематическому изучению глубинного строения всей территории страны. Принципиальной основой его является сеть взаимоувязанных геофизических профилей, опирающихся на сверхглубокие и глубокие скважины. Первая из этих скважин — Кольская — достигла рекордной глубины более 12 км, Саатлинская в Азербайджане — 8,5 км. Будут пробурены сверхглубокие и глубокие скважины в Западно-Сибирской, Прикаспийской и Днепровско-Донецкой нефтегазоносных провинциях, а также на Урале, в Норильском, Мурунтауском и Криворожском рудных районах. Основная каркаская сеть глубинного геолого-геофизического изучения должна служить базисом для привязки более детальных исследований в пределах отдельных регионов.

Бурение Кольской сверхглубокой скважины — выдающееся научное и техническое достижение. Впервые получены уникальные материалы о строении, составе и физическом состоянии древнейших образований в глубинных горизонтах континентальной земной коры. Появилась возможность с новых позиций интерпретировать данные региональных геофизических исследований. В процессе подготовки и осуществления бурения Кольской скважины разработаны теоретические основы сверхглубокого бурения, созданы отечественные принципиально новые технические средства бурения на глубины 10—15 км.

Изучение геологического строения земных недр, проведение поисков, разведки и геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых осуществляется на базе учета достижений геологических наук — стратиграфии и палеонтологии, минералогии, петрографии и литологии, геофизики и геохимии, тектоники и минерагении, гидрогеологии и инженерной геологии. Создаются новые отрасли геологических наук — морская (океаническая) геология и планетология.

При значительной дифференциации геологических наук, ведущей к созданию новых научных направлений, следует особо отметить возрастание роли геофизики и геохимии.

Геофизика превратилась в крупную отрасль геологоразведочного производства, а геофизические методы стали эффективным средством глубинного изучения земной коры и верхней мантии на континентах, шельфах морей и в Мировом океане, поисков и разведки полезных ископаемых. Методы современной геофизики широко применяются на всех стадиях геологоразведочного процесса — от региональных исследований до определения вещественного состава полезных ископаемых и подсчета их запасов. Это стало возможным благодаря совершенствованию теории, методики, средств наблюдений и систем обработки данных различных геофизических методов.

На основе выполненных в последние годы фундаментальных исследований усовершенствованы геохимические методы поисков. Созданы высокочувствительная атомно-абсорбционная полевая и лабораторная аппаратура, а также автоматизированные системы и программы обработки геохимической информации с помощью электронно-вычислительных машин. Внедрение современных геохимических методов в комплексе с геологическими и геофизическими показало их высокую геологическую и экономическую эффективность, привело к открытию многих месторождений, в том числе крупных.

Важным достижением советской геологической науки в последние десятилетия является дальнейшая разработка минерагении — учения о закономерностях образования и размещения полезных ископаемых. Это направление стало ведущим при прогнозе и перспективной оценке крупных регионов, а также локальных площадей и объектов.

Концентрированным выражением данных, полученных при проведении геологических съемок разных масштабов, производственных и научно-исследовательских работ по изучению нефтегазоносных и угленосных бассейнов, рудных районов и месторождений, являются крупные многотомные монографии — «Геология СССР», «Гидрогеология СССР», «Инженерная геология СССР», «Рудные месторождения СССР», «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР» и другие, а также комплекты обобщающих карт, многие из которых не имеют аналогов в зарубежной геологической картографии.

Четвертым изданием выпущена Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000. Впервые на карте такого рода отображены геологическое строение не только суши, но и прилегающих акваторий, а также использована информация, полученная со спутников. Новым достижением геологосъемочной практики является Космогеологическая карта СССР, составленная с использованием снимков с искусственных спутников Земли типа «Космос» и «Метеор», а также наблюдений с пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций.

Проведение геологоразведочных работ в условиях закрытых территорий при все увеличивающейся глубине поисков и разведки месторождений невозможно без применения современных технических средств. Поэтому большое значение придается разработке и внедрению в практику работ высокопроизводительного оборудования, транспортных средств, геофизической аппаратуры, приборов и т. п., а также передовых технологий проведения геологоразведочных работ. Высокооборотное алмазное бурение с цикличным и непрерывным выносом образцов горных пород без ударных импульсов, бескерновая проходка — вот методы, главенствующие в области современного разведочного бурения. В Советском Союзе ежегодно проходятся десятки миллионов метров скважин. За последние десятилетия произошло техническое переоснащение подземных горных работ.

Самолеты и вертолеты широко используются не только как транспортные средства; оснащенные современной аппаратурой, они широко применяются при дистанционных исследованиях территорий, поисках месторождений полезных ископаемых.

Геологическая служба СССР превратилась в индустриальную научно-производственную отрасль, оснащенную разнообразной техникой и геофизической аппаратурой, современными транспортными средствами и лабораторным оборудованием.

Минерально-сырьевая база и ее роль в развитии народного хозяйства. Успехи в изучении геологического строения страны и отдельных ее регионов, достижения геологических наук, широкое развитие поисковых и разведочных работ позволили создать мощную минерально-сырьевую базу, обеспечивающую потребности народного хозяйства в полезных ископаемых. Выявленные минерально-сырьевые ресурсы играют большую роль в реализации Энергетической и Продовольственной программ СССР.

В соответствии с принятым Коммунистической партией и Советским правительством курсом на наращивание экономического потенциала восточных районов страны большие объемы геологоразведочных работ были сосредоточены в Сибири, на Дальнем Востоке, а также в Казахстане и Средней Азии. Особенно значительные минеральные ресурсы выявлены и осваиваются в Сибири, где открыты нефтегазоносные провинции, угольные бассейны и рудные районы.

Важнейшее значение имеет Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция, которая осваивается исключительно быстрыми темпами. Около 20 лет назад здесь были получены первые 200 тыс. т нефти, а сейчас добыча нефти составляет более 60 %, газа — свыше половины общесоюзной. Значительные их ресурсы связаны с Волго-Уральской, Тимано-Печорской, Прикаспийской и Амударьинской нефтегазоносными провинциями.

Советский Союз богат запасами углей. Донбасс обеспечивает третью часть общесоюзной их добычи. Крупнейшей базой высококачественных энергетических и коксующихся углей стал Кузнецкий бассейн в Западной Сибири; кузнецкие угли отличаются высоким качеством и значительным разнообразием марочного состава. Канско-Ачинский бассейн уникален как по запасам бурых углей, так и по благоприятным условиям их добычи; освоение его является одной из важнейших задач Энергетической про-

граммы страны. Крупные запасы углей разведаны в Печорском, Карагандинском, Экибастузском, Южно-Якутском и других бассейнах.

Подготовлена мощная сырьевая база черной металлургии, обеспечивающая ее развитие на длительную перспективу. Ведущее место по количеству разведанных запасов и добыче железных руд принадлежит месторождениям Криворожского бассейна на Украине и района Курской магнитной аномалии. Месторождения их разведаны и эксплуатируются на Урале, Кольском полуострове и в Карелии, в Казахстане, Западной и Восточной Сибири. Советский Союз располагает значительными ресурсами марганцевых и хромовых руд.

Созданы крупные сырьевые базы цветной металлургии: медно-никелевых руд — в Норильском районе и на Кольском полуострове; меди — в Казахстане, Узбекистане, на Урале и в зоне БАМа; свинца и цинка — на Рудном Алтае, в Центральном Казахстане, Узбекистане, Таджикистане, Красноярском крае, Забайкалье и Азербайджане; алюминиевого сырья — на Урале, Тимане, в районе Курской магнитной аномалии, в Архангельской области и Казахстане, а небокситового сырья — на Кольском полуострове, в Западной Сибири и Закавказье; вольфрама — на Северном Кавказе, в Казахстане, Забайкалье и на Дальнем Востоке; олова — на Дальнем Востоке и в Киргизии; молибдена — в Восточной Сибири, Казахстане и Армении.

Выдающимся достижением является создание минерально-сырьевой базы алмазодобывающей промышленности в Якутии.

Разведаны крупные запасы сырья для производства минеральных удобрений за счет известных месторождений апатитов Хибинской группы на Кольском полуострове, фосфоритов Казахстана, центральных районов европейской части СССР и Эстонии; калийных солей — Пермского Предуралья, Белоруссии, Западной Украины и Туркмении. Значительный калиеносный бассейн выявлен в Иркутской области.

Все большее значение приобретает использование подземных вод как источника хозяйственного и технического водоснабжения городов, промышленных центров и сельскохозяйственных районов, а также для бальнеологических целей. Разведано более 2000 месторождений пресных вод и свыше 400 термальных, минеральных и промышленных вод. Водоснабжение 2/3 городов обеспечивается за счет подземных вод.

Наличие крупных разведанных запасов полезных ископаемых обеспечивает высокие темпы развития горнодобывающих отраслей народного хозяйства. В Советском Союзе ежегодно добывается нефти (с конденсатом) более 600 млн. т, газа свыше 580 млрд. м³, угля более 700 млн. т, сырых железных руд свыше 500 млн. т. Несмотря на то, что из недр ежегодно извлекается большое количество полезных ископаемых, разведанные запасы минерального сырья в стране увеличиваются темпами, опережающими развитие горнодобывающих отраслей промышленности.

Советский Союз не только производитель, но и крупный экспортер минерального сырья. В соответствии с Комплексной программой дальнейшего углубления и совершенствования сотрудничества и развития социалистической экономической интеграции значительное количество минерального сырья и продуктов его переработки поставляется в страны — члены СЭВ. В свою очередь, эти страны поставляют нам прокат черных металлов, каустическую и кальцинированную соду, продукты химии и другое сырье. Высокая степень самообеспечения стран — членов СЭВ основными видами минерального сырья способствует стабильному росту их экономики. Экономическое совещание стран — членов СЭВ на высшем уровне, состоявшееся в июне 1984 г. в Москве, приняло решение о дальнейшем развитии сотрудничества в области производства и взаимных поставок топлива, энергии и сырья. Советским Союзом заключены долгосрочные соглашения с рядом капиталистических стран о поставках газа, нефти, угля и других минеральных ресурсов. В результате реализации контракта «Газ—трубы» страны Западной Европы получили возможность улучшить свое энергообеспечение. СССР и в дальнейшем будет принимать активное участие в международном экономическом сотрудничестве, в том числе в области обеспечения минеральными ресурсами.

Инженерно-геологическое обеспечение крупномасштабного строительства. Грандиозные масштабы промышленного и гражданского строительства (Байкало-Амурской магистрали, гидро- и атомных электростанций, крупных мелиоративных систем и т. д.), освоение громадных новых территорий, в частности в Сибири, определили необходимость опережающего изучения инженерно-геологических условий крупных районов и конкретных участков, составления уникальных по содержанию инженерно-геологических и геокриологических карт. Созданы фундаментальные труды в области инженерной и динамической геологии, грунтоведения и механики грунтов. Продолжают углубляться такие направления, как гидрогеология и гидрохимия карста, инженерная карстология, изучение механизма карстово-суффозионного процесса, естественного и техногенного карста и их влияния на сооружаемые объекты.

Большой размах освоения северных и северо-восточных территорий весьма остро поставил проблему проведения геокриологических исследований и прогнозов в этих районах. Произведено инженерно-геокриологическое районирование территории страны.

Обобщен большой материал по сейсмическим явлениям по территории СССР. Широкая сеть сейсмических станций и геофизических полигонов позволила разработать методику долгосрочных и краткосрочных прогнозов землетрясений. Все эти данные учитываются при планировании и строительстве в сейсмоопасных районах.

Охрана окружающей среды. В СССР охрана природы определена как важнейшая социальная задача. Меры по ее охране, рациональному использованию природных ресурсов являются составной частью государственных планов.

В современном мире хозяйственная деятельность человека стала мощным фактором преобразования природы. Это воздействие носит как положительный, созидательный, так и негативный характер. Сооружая искусственные водохранилища, каналы, укрепляя берега морей, озер и рек, повышая биологическую продуктивность территорий, извлекая из недр полезные ископаемые, благоустраивая города и населенные пункты, прокладывая железные и автомобильные дороги, человек развивает естественные производительные силы. В то же время при создании искусственных водохранилищ нередки подтопление и заболачивание обширных территорий, активизация экзогенных процессов — возникновение оползней и селей, проявления абразии берегов, карстообразование и т. п.; многообразные изменения геологической среды происходят в результате разработки месторождений полезных ископаемых.

Хозяйственная деятельность, таким образом, влияет и на ход естественных геологических, гидрогеологических, геохимических и геофизических процессов в литосфере, атмосфере и гидросфере. Поэтому проблема охраны окружающей среды является в значительной степени геологической. В соответствии с этим геологи принимают активное участие в разработке и осуществлении природоохранных мероприятий.

Все большее значение придается повышению уровня рационального, комплексного использования минерально-сырьевых ресурсов. При разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых большое внимание уделяется созданию безотходной технологии переработки минерального сырья, освоению как основных, так и сопутствующих полезных компонентов руд, а также вмещающих пород и «хвостов» обогатительного производства. Хорошие результаты в этом отношении достигнуты на многих предприятиях цветной и черной металлургии (комбинатах Усть-Каменогорском, Верхнеднепровском, Нижнетагильском и др.).

С целью охраны вод и рационального использования водных ресурсов проводятся исследования по разработке маловодной и безводной технологии, внедрению замкнутых технологических циклов, высокоэффективных методов очистки сточных вод. В настоящее время 69 % потребности про-

мышленных предприятий обеспечивается системами оборотного и повторного водоснабжения, что позволяет отказаться от забора из природных источников свыше 220 км^3 воды в год; это более чем в четыре раза превышает среднегодовой сток Днепра.

Для контроля за охраной подземных вод Министерством геологии СССР создана региональная сеть режимных скважин, насчитывающая более 32 000 опорных пунктов. Осуществляется искусственное восполнение запасов подземных вод, в частности на действующих водозаборах для городов Ташкента, Тбилиси, Новокузнецка, Сочи и др. На мелиорируемых землях создана система вертикального дренажа, позволяющая избежать засолонения почв и грунтовых вод.

После проведения инженерно-геологических исследований большие работы выполнены по защите от абразии берегов Черного моря в районах Пицунды, Сочи, Одессы, на южном берегу Крыма; комплекс противооползневых мероприятий реализован на Черноморском побережье, в Москве, Киеве, Горьком, Ульяновске и др. Уникальной плотиной высотой 150 м Алма-Ата надежно защищена от разрушительных селевых потоков.

Путем опережающего инженерно-геологического изучения и прогноза возможных изменений горно-геологических и геокриологических условий успешно решаются проблемы охраны геологической среды в зоне БАМа, в районах интенсивной отработки месторождений полезных ископаемых, при прокладке трасс газо- и нефтепроводов на территории Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Поскольку охрана окружающей среды является глобальной проблемой современности, охватывающей все страны и континенты, Советский Союз принимает активное участие в международном сотрудничестве в этой области, в частности, в работах по международному научному проекту ЮНЕСКО/ЮНЕП/СССР «Охрана литосферы как компонента окружающей среды». С участием советских геологов подготовлены две крупные монографии («Гидрогеологические основы охраны подземных вод» и «Оползни и сели»), в которых обобщен мировой опыт в этой области. По полноте охвата проблемы, научному значению и практической направленности монографии не имеют аналогов в мировой научной литературе.

Советский Союз практическими делами реализует принятую Генеральной ассамблеей ООН «Всемирную хартию природы», которая возлагает на все государства ответственность за сохранение нашей планеты и ее богатств.

Международные связи советских геологов. В Советском Союзе придается важное значение развитию международного сотрудничества в области геологии. Широкое сотрудничество осуществляется по линии Организации Объединенных Наций, Международного союза геологических наук (МГСН), Международной программы геологической корреляции (МПГК), в рамках которых выполняются фундаментальные исследования в различных областях геологических наук, имеющих большое научное и практическое значение.

Советские геологи принимают активное участие в работах более чем 30 международных геологических ассоциаций, комиссий и комитетов, в том числе — Комиссии по геологической карте мира, Международной комиссии по стратиграфии, Международной ассоциации гидрогеологов (МАГ), Международной ассоциации по инженерной геологии (МАИГ), Международной ассоциации по геохимии и космохимии (МАГиК), Международной ассоциации по генезису рудных месторождений (МАГРМ), Комитета по седиментологии и др.

Проведена работа по составлению геологических и других специализированных карт, охватывающих обширные регионы, отдельные континенты и мир в целом, а также по подготовке крупных сводок по геологии и полезным ископаемым Африки, Юго-Восточной Азии, Среднего Востока и отдельных стран.

За последние 25 лет Министерство геологии СССР на много- и двухсторонней основе оказало содействие в проведении геологоразведочных работ более чем 50 странам. Советскими специалистами или при их непосредственном участии выявлено, разведано или

переоценено более 1200 месторождений полезных ископаемых.

Следует особо отметить работу советских геологов в рамках Совета Экономической Взаимопомощи. Сотрудничество геологов началось с первых лет организации СЭВ и привело к созданию Постоянной комиссии СЭВ по геологии, которая существует уже 20 лет. Большое значение придается совместным мероприятиям стран — членов СЭВ, направленным на решение топливно-энергетической проблемы и обеспечение важнейшими видами минерального сырья на длительную перспективу. Для координации работ по наиболее важным проблемам на базе советских научно-исследовательских институтов созданы международные координационные центры «Интерморгео», «Интергеотехника» и «Интергеонефтегаз». Важные результаты получены в ходе совместных со странами — членами СЭВ экспедиций в Тихом океане.

Прошедшая в 1984 г. в Москве XXVII сессия Международного геологического конгресса была крупнейшим форумом геологов мира. Почти 6 000 геологов из 110 стран встретились и обменялись информацией и идеями об изучении нашего общего космического дома — планеты Земля, было обсуждено свыше 100 крупных научных проблем. XXVII сессия МГК несомненно явилась важной вехой в развитии геологических наук, продемонстрировала высокий уровень развития советской геологии.

Анализ результатов обсуждения на сессии конгресса крупных научных проблем позволяет сделать ряд важных выводов.

1. Отличительной чертой современного этапа развития геологии является расширение диапазона исследований. Геологическими исследованиями теперь охвачены не только приповерхностные части континентов, но и значительные глубины земных недр, Мировой океан и космическое пространство.

2. Можно со всей определенностью говорить о наступлении нового этапа в развитии наук о Земле, основным содержанием которых является рассмотрение всех процессов, происходящих на Земле и планетах Солнечной системы в диалектическом единстве.

3. Для современного этапа геологических исследований характерно, с одной стороны, широкое развитие дистанционных исследований, в том числе аэровысотных и космических, охватывающих огромные пространства, а с другой — проникновение в тайны микромира, детальнейшее изучение горных пород и полезных ископаемых с помощью новейших методов электронной микроскопии, ядерной физики и т. п.

4. Главный вывод из обсуждения на конгрессе минерально-сырьевых проблем состоит в том, что земные недра могут обеспечить дальнейшее значительное увеличение минерально-сырьевых ресурсов для удовлетворения возрастающих потребностей в них XXI века. Вместе с тем нужно подчеркнуть, что этап сырьевого изобилия минерально-сырьевых ресурсов уже позади. Выявление новых месторождений становится делом все более трудоемким и дорогостоящим. Наряду с поисками месторождений на новых территориях, следует обратить особое внимание на интенсификацию освоения недр в известных горнопромышленных районах — выявление здесь новых и расширение масштабов известных месторождений, максимальное сокращение потерь полезных ископаемых при добыче, комплексное безотходное использование всего добытого минерального сырья.

5. В современных условиях неизмеримо возросло значение совершенствования методов поисков и создания новых высокоэффективных технических средств для поисков и разведки месторождений.

Важность прошедшей сессии конгресса выходит далеко за рамки специальных профессиональных проблем. Большое значение имеет единодушное принятие участниками конгресса обращения к геологам мира «За сотрудничество в изучении Земли и ресурсов недр, за мир и дружбу между народами».

Задачи и перспективы. На апрельском (1985 г.) Пленуме ЦК КПСС отмечалось, что задача ускорения темпов роста, притом существенного, вполне выполнима, если в центр всей нашей

работы поставить интенсификацию экономики и ускорение научно-технического прогресса, перестроить управление и планирование, структурную и инвестиционную политику, повсеместно повысить организованность и дисциплину, коренным образом улучшить стиль деятельности и, в первую очередь, активизировать человеческий фактор, добиться того, чтобы каждый на своем месте работал добросовестно, с полной отдачей.

В качестве главного рычага интенсификации народного хозяйства, отмечалось на Пленуме, партия рассматривает кардинальное ускорение научно-технического прогресса. С этих позиций мы рассматриваем и развитие геологоразведочных работ.

Созданная в Советском Союзе минерально-сырьевая база надежно обеспечивает потребности народного хозяйства в полезных ископаемых практически до конца текущего столетия. Однако анализ тенденций потребления минерально-сырьевых ресурсов показывает, что их добыча и потребление будут увеличиваться. В 80-е годы должна создаваться минерально-сырьевая база, с которой мы вступим в XXI век. XXVI съездом КПСС перед геологами поставлена задача обеспечить ускоренное развитие работ по геологическому изучению территории страны, дальнейшему увеличению минерально-сырьевых ресурсов, в первую очередь топливно-энергетических, расширить сырьевые базы действующих горнодобывающих предприятий, особенно в районах формирования территориально-производственных комплексов. Предстоит выполнить работы по выявлению полезных ископаемых на континентальном шельфе и в Мировом океане, освоение минеральных ресурсов которого — дело ближайшего будущего.

Успешное решение поставленных задач по расширению минерально-сырьевой базы страны зависит от дальнейшего развития ряда важных научных направлений. Это определило необходимость опережающего развития и повышения эффективности фундаментальных и прикладных геологических научных исследований, в первую очередь тех, которые решающим образом влияют на совершенствование прогнозов, методики и техники поисков, разведки и экономической оценки месторождений.

На основе совершенствования крупномасштабного геологического картирования, учета данных сверхглубокого и глубокого бурения, использования результатов космогеологических и аэрогеологических съемок создаются типовые модели тектоносферы для областей с различными геодинамическими обстановками, в том числе для главных нефтегазоносных, угленосных и рудных районов.

На новый методический уровень поднимается изучение процессов и совершенствование теории образования месторождений полезных ископаемых. Будут созданы научно обоснованные модели процессов формирования месторождений руд и углеводородов в различных геолого-структурных обстановках. Для этого наряду с более глубоким изучением месторождений усиливаются экспериментальные исследования условий их формирования, изучение механизма и путей миграции и концентрации рудных веществ и углеводородов.

Все это позволит значительно усовершенствовать общую теорию геологического строения, происхождения и эволюции Земли на основе анализа и интеграции данных всех отраслей геологических наук и приведет к повышению достоверности прогнозов выявления месторождений полезных ископаемых.

Трудно переоценить значение глубокого анализа состояния и долгосрочного прогноза развития и освоения минерально-сырьевой базы страны. Учет перспективной потребности в полезных ископаемых позволит определить темпы опережающего роста разведанных их запасов по сравнению с текущим и намечаемым развитием горнодобывающих отраслей промышленности. Это даст возможность четко определить ближайшие и перспективные задачи геологоразведочных работ по направлениям, видам полезных ископаемых и районам, сконцентрировать усилия научно-исследовательских и производственных организаций на их выполнении.

С целью совершенствования методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых необходимо продолжить разработку рационального комплекса геологических, геофизических и геохимических методов поисков, а также аппаратуры, обеспечивающих увеличение глубинности исследований, точность и достоверность структурных построений.

В научно-техническом прогрессе на геологоразведочных работах особая роль принадлежит принципиально новым конструкторским решениям по созданию технических средств для поисков и разведки. Одним из них является создание новых геофизических средств для поисков и разведки месторождений полезных ископаемых на основе достижений смежных наук — математики, физики, автоматики, телемеханики и приборостроения, криогенной и микропроцессорной техники. В частности, большое значение имеет разработка аппаратуры и методов для прямых поисков, в том числе объемной сейсморазведки с применением принципов голографии. Для изучения глубинного строения земной коры создаются мощные источники возбуждения, такие, как МГД-генераторы, лазерные системы, и новые принципы детектирования параметров физических полей. Для совершенствования передачи геофизической информации разрабатываются новейшие системы телеметрии, в том числе с использованием спутниковой связи.

В области геологоразведочного бурения усиливаются разработки новых методов разрушения горных пород — более эффективных, чем применяемые в настоящее время. Разрабатываются также методы оптимизации и автоматизации управления технологическими процессами с помощью микропроцессоров, механизации трудоемких процессов. Следует ускорить внедрение роботов и манипуляторов, решение проблем управления буровыми работами на объекте.

Таким образом, дальнейшее развитие геологических наук требует, во-первых, тщательного наблюдения и изучения природных объектов с использованием всего арсенала научных и технических средств, во-вторых, постановки целенаправленных экспериментальных исследований и, в-третьих,— крупных обобщений накопленного огромного фактического материала. Современная геология не может ограничиваться изучением лишь качественной стороны явлений и процессов, а должна давать их количественную характеристику. На основе такого подхода к исследованию геологических явлений и процессов изучение земных недр может быть поднято на новый более высокий уровень.

Мы с оптимизмом смотрим на обеспечение человечества минерально-сырьевыми ресурсами в будущем. К такому выводу приходит наша геологическая наука в результате прогнозно-минерагенических исследований. Это подтверждается и практикой геологоразведочных работ последних десятилетий в Советском Союзе и во многих других странах мира. В частности, благодаря целенаправленным поискам, выполненным на современной научной и методической основе, за последние годы значительно расширен минерально-сырьевой потенциал даже таких давно эксплуатируемых горнопромышленных районов, как Урал и Рудный Алтай. Проведение целеустремленных поисков с использованием достижений всего арсенала геологических наук и современных технических средств, несомненно, приведет к новым крупным открытиям минерально-сырьевых ресурсов.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ГЕОЛОГИИ

УДК 553.43.078+550.8.553.43

А. И. КРИВЦОВ (Мингео СССР), А. Г. ВОЛЧКОВ,
И. Ф. МИГАЧЕВ, О. В. МИНИНА (ЦНИГРИ), Х. ОТОН
(М-во базовой пром-сти, Республика Куба)

Система „прогноз — поиски — оценка“ для месторождений цветных металлов

Апрельский (1985 г.) Пленум ЦК КПСС определил кардинальное ускорение научно-технического прогресса в качестве главного стратегического рычага интенсификации народного хозяйства и использования накопленного потенциала. При этом была отмечена необходимость перехода к принципиально новым технологическим схемам, дающим наивысшую эффективность на основе современных достижений науки и техники.

Задачи ускорения научно-технического прогресса в области изучения недр и ускорения поисков месторождений полезных ископаемых требуют дальнейшего повышения эффективности геологоразведочных работ. Рост эффективности поисков может быть обеспечен созданием оптимальных технологических схем геологоразведочного процесса как совокупности эффективных методов выявления объектов прогноза и поисков на разных стадиях работ. Этим целям отвечают системы «прогноз—поиски—оценка» (СППО) и базирующиеся на них рациональные прогнозно-поисковые комплексы (ППК), разработанные применительно к ведущим геолого-промышленным типам месторождений цветных металлов [1, 2, 3].

В прогнозно-поисковых комплексах должны найти отражение совершенствование существующих и разработка новых методов поисков, а также рациональное использование уже имеющихся методов, выбор тех из них, которые в определенном сочетании обеспечивают высокоэффективное и ускоренное решение задач различных стадий геологоразведочного процесса. Такие комплексы должны базироваться на современных достижениях в изучении строения месторождений, в области специальной металлогении и теории рудогенеза, что составляет гео-

лого-генетические основы прогноза поисков. Формирование прогнозно-поисковых комплексов предусматривает увязку этих основ со стадийностью геологоразведочного процесса, задачами стадий, видами и методами работ на основе системного подхода.

Системы «прогноз—поиски—оценка» учитывают принятую стадийность геологоразведочного процесса, основанную на принципе соответствия между стадиями работ и их целями,— металлогеническими категориями разного ранга и эквивалентными им прогнозными ресурсами и запасами. В упрощенном варианте соотношение стадий, объектов прогноза и поисков, ресурсов и запасов следующее:

региональные геологические и геофизические исследования масштаба 1 : 500 000—1 : 200 000 — потенциальные рудные районы — ресурсы категории P_3;

геологическая съемка масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000 с общими поисками — потенциальные рудные поля — ресурсы категории P_2;

поиски — перспективные участки — ресурсы категории $P_2+(P_1)$;

поисково-оценочные работы — потенциальные месторождения — ресурсы категории P_1 и запасы категории C_2.

Эта стадийность геологоразведочного процесса отвечает принципу последовательного приближения, который соблюдается при создании СППО и ППК.

Геологическую их основу составляют модели объектов прогноза и поисков разного ранга, суммирующие опыт прогноза, поисков, разведки, эксплуатации месторождений и закономерности их размещения. Модели состоят из соподчиненных элементов, постоянно присутствующих во всех геологических обстановках и объективно доступ-

ных для наблюдения и опознания. Элементы моделей объектов прогноза и поисков выступают в качестве поисковых критериев и признаков, используемых при формировании СППО и ППК. При этом соблюдается принцип соответствия между объектами прогноза и поисков, их признаками и методами выявления последних. Включение в СППО и ППК того или иного метода определяется его разрешающими возможностями в различных условиях ведения работ.

Последовательность выделения перспективных площадей разного ранга. Площади развития рудной минерализации в общем случае разделяются на четыре категории: металлогенические зоны, рудные районы, рудные поля и перспективные участки.

При соблюдении принципа последовательного приближения на ранних стадиях выделяются металлогенические зоны, затем рудные районы и рудные поля в рудных районах, а на заключительных стадиях — перспективные участки в рудных полях. На практике эта последовательность выявления объектов разного ранга выдерживается далеко не всегда, поскольку открытие перспективных участков или месторождений приводит на том или ином этапе геологического изучения к отвлечению сил и средств от освоения других площадей. Тем не менее при целенаправленном планировании геологоразведочных работ необходима реализация всей последовательности выявления разноранговых объектов прогноза и поисков с учетом состояния изученности соответствующих территорий.

При выделении и прогнозе металлогенических зон используются формационные основы специальной металлогении, разработанные в последние годы. Месторождения того или иного геолого-промышленного типа входят в качестве естественных составляющих определенные геологические формации или в сочетания таких формаций [4]. Геологические формации по установленной и предполагаемой роли в рудогенезе разделяются на рудовмещающие (РВФ), рудоносные (РНФ), рудогенерирующие (РГФ) и рудообразующие (РОФ).

В качестве РВФ выделяются геологические формации с месторождениями, возникновение которых связано с другими формациями. РВФ отвечают относительно пассивной среде рудоотложения: однотипные по составу РВФ могут содержать существенно различные месторождения, в то же время вариации в составе РВФ не оказывают влияния на тип оруденения. РНФ представляют частный случай РВФ и выделяются как формационно однородные, содержащие однотипные месторождения. РГФ — это геологические образования, которым отводится роль источников вещества, транспортирующих агентов и энергии при локализации руд в РВФ. РОФ выступают в качестве источников энергии при рудообразовании, реализуемом за счет вещества иных формаций (РНФ).

Общепринятые и наиболее широко распространенные концепции рудогенеза отвечают шести моделям металлогенических формаций, учитывающим роль в рудообразовании как отдельных вышеназванных геологических формаций, так и их сочетаний. Эти модели имеют следующее формализованное выражение: РВФ+РГФ; РВФ = РНФ; РВФ = РНФ = РГФ; (РВФ = РНФ) + РОФ; (РВФ = = РНФ) + (РОФ = РГФ); РВФ + +(РВФ=РНФ=РГФ).

Районирование территорий с целью выделения металлогенических зон учитывает принадлежность объектов прогноза к той или иной модели металлогенических формаций и может проводиться по одному из четырех вариантов (рис. 1).

I. РВФ=РНФ. Одна и та же геологическая формация выступает в роли как рудовмещающей (РВФ), так и рудоносной (РНФ).

II. РВФ=РНФ=РГФ. Одна и та же геологическая формация выступает в роли рудоносной, рудовмещающей и рудогенерирующей.

III. РВФ+РГФ и РВФ+(РВФ= =РНФ=РГФ). Рудоотложение реализуется при сочетании одной формации (РГФ или РВФ=РНФ=РГФ) с любыми формациями, выступающими в роли рудовмещающих.

IV. (РВФ=РНФ)+РОФ и (РВФ= =РНФ)+(РОФ=РГФ). Рудоотложение реализуется за счет перераспре-

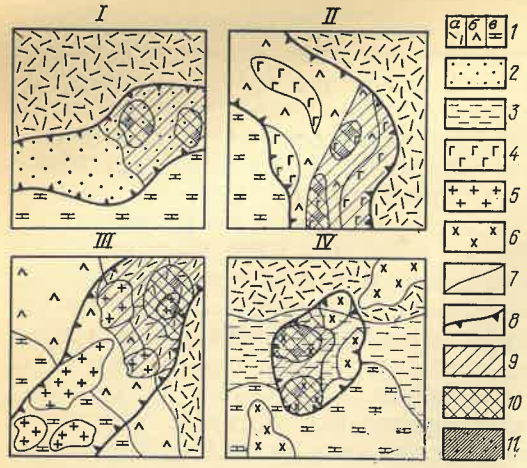


Рис. 1. Схема последовательной локализации перспективных площадей в различных моделях металлогенических формаций

I—IV — варианты моделей металлогенических формаций; *1* — РВФ различного состава (*а* — кислого, *б* — основного, *в* — терригенно-карбонатного); *2* — РВФ—РНФ с промышленной металлоносностью; *3* — РВФ=РНФ с непромышленной металлоносностью; *4* — РВФ=РНФ=РГФ; *5* — РГФ; *6* — РОФ; *7* — формационные границы; *8* — границы металлогенических зон; *9—11* — перспективные площади с комплексом признаков: *9* — рудных районов, *10* — рудных полей, *11* — потенциальных месторождений

деления непромышленных концентраций рудного вещества в формации РВФ=РНФ под воздействием рудообразующей формации (РОФ), которая может играть роль и рудогенерирующей (РГФ).

Металлогенические зоны могут оконтуриваться как поля распространения той или иной геологической

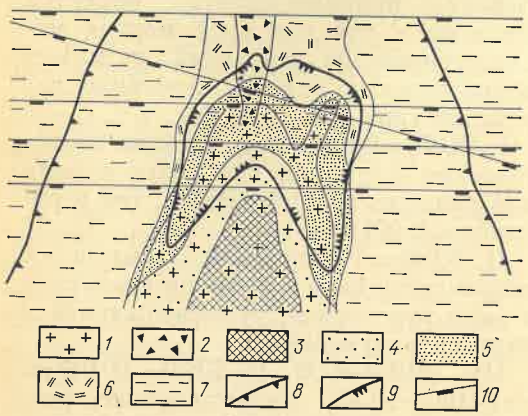


Рис. 2. Модель меднопорфирового месторождения

1 — рудоносный порфировый интрузив; *2* — брекчиевая трубка; *3* — кварцевое «ядро»; *4* — зона калишпатизации и биотитизации; *5* — зона окварцевания и серицитизации; *6* — зона аргиллизации; *7* — пропилитизированные породы интрузивной рамы; *8* — границы ореола интенсивной пиритизации; *9* — контуры промышленных руд; *10* — варианты положения эрозионного среза

формации (I и II) или как площади совмещенного развития двух формаций с различной ролью в рудогенезе (III и IV). Потенциальные рудные районы, рудные поля и перспективные участки выделяются по совокупности соответствующих признаков, входящих в качестве элементов в модели этих объектов. Набор признаков каждом конкретном случае определяется принадлежностью месторождений к тому или иному геолого-промышленному типу и зависит от геологического строения изучаемых площадей.

Например, применительно к медно-порфировым месторождениям металлогенические зоны выделяются по варианту III (см. рис. 1) как площади развития вулкано-плутонических ассоциаций, формирующихся на определенных стадиях развития вулкано-плутонических поясов и несущих медно-порфировое оруденение. Районы развития меднопорфировых месторождений (рудные районы) соответствуют ареалам распространения продуктивных плутоногенных формаций и приурочены к благоприятном положении эрозионного среза эквивалентны отдельным крупным многофазным плутонам или их группам, или группам порфировых фаз.

Рудные поля отвечают значительным по масштабам рудно-магматическим системам, центрами которых служат порфировые интрузивы. Позиции перспективных участков (месторождений и рудных тел) в пределах этих систем контролируется тектоническими элементами, связанными со становлением рудоносных интрузивов, а положение конкретных рудных тел или их частей может быть определено из анализа рудно-метасоматической зональности. Как правило, оруденелые зоны располагаются во внутренних, рефрактерных центральных частях меднопорфировых рудно-магматических систем.

Как видно на геологической модели меднопорфирового месторождения (рис. 2), набор признаков, необходимых для установления перспективного участка, определяется положением эрозионного среза. При этом возможны варианты как малой глубины вскрытия меднопорфировой системы эрозионным срезом, при котором признаки присутствия рудных тел не получают выражения, так и весьма значительной их денудации с уничтожением части или даже всей массы руд.

Методика формирования ППК. ППО и ППК обеспечивают решение комплекса задач — от прогноза металлогенических зон и районов до оценки локальных перспективных участков. Каждой стадии геологоразведочного процесса отвечают однотипные по строению блоки ППК, а всему процессу — сумма сопряженных по вертикали (по последовательности выполнения) таких блоков, что отражает принцип последовательного приближения. Каждый блок (рис. 3) представляет систему взаимосвязанных элементов «методы — признаки — объекты», которая должна надежно обеспечивать достижение цели соответствующей стадии.

При формировании блоков решают следующие задачи: создание геологической модели объекта прогноза и поисков с набором соответствующих признаков — характеристик модели; разделение признаков на необходимые дополнительные; оценка опознаваемости объекта прогноза и поисков отдельными признаками и их сочетаниями методов), применяемыми в регионе или известными в геологоразведочной практике, с учетом их разрешающих возможностей.

Геологической основой ППК для месторождений любого геолого-промышленного типа служит модель объекта прогноза и поисков. В качестве примера на рис. 4 представлена модель медноколчеданного месторождения, которая включает следующие главные элементы: рудоносная формация, рудоконтролирующие части разреза формации, рудоконтролирующие палеовулканические сооружения, рудоносные уровни разреза, надрудные зоны изменений и геохимические ореолы, подрудные зоны изменений и геохимические ореолы, рудовмещающие депрессионные структуры, рудоподводящие каналы, послойная сульфидная вкрапленность, рудокласты, рудные тела.

Каждый из этих элементов как признак перспективного участка имеет собственные характеристики. Доступ-

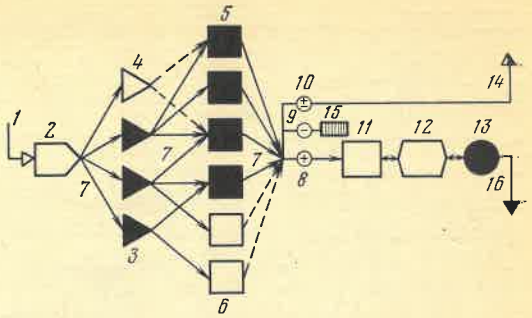


Рис. 3. Блок-схема стадии прогнозно-поискового комплекса

1 — переход от предшествующей стадии; *2* — стадия работ; *3—4* — методы работ: *3* — обязательные, *4* — дублирующие либо избыточные; *5—6* — признаки объектов: *5* — необходимые, *6* — дополнительные; *7* — связи методы—признаки и признаки—объекты (основные и второстепенные); *8—10* — результаты работ: *8* — положительные, *9* — отрицательные, *10* — неопределенные; *11—13* — объекты прогноза и поисков: *11* — геологические, *12* — металлогенические, *13* — ресурсы и запасы; *14* — возврат к предшествующей стадии; *15* — прекращение работ; *16* — переход к последующей стадии

ность элементов модели для обнаружения и применение того или иного варианта ППК определяются условиями ведения поисков. На рис. 4 это показано вариантами различного положения эрозионного среза с соответствующей каждому из них пространственной ориентировкой рудных тел и вмещающих пород.

Подобная модель может быть применена и к другим месторождениям массивных сульфидных руд, в частности, к колчеданно-полиметаллическим в осадочно-вулканогенных и осадочных толщах с необходимой конкретизацией характеристик отдельных элементов.

При оценке опознаваемости объектов признаками необходимо учитывать обстановки ведения работ по прогнозу и поискам. Ряд признаков обладает высокой информативностью не в любых обстановках, а лишь в наиболее благоприятных. Объекты могут быть опознаны одним, несколькими или комплексом всех известных признаков. Для уверенного выявления объекта при прогнозе и поисках иногда бывает недостаточно установленных признаков. В этом случае проводится доработка геологической модели объекта. Оптимизация в звене «признаки—объекты» в конечном итоге обеспечивает выбор комплекса характеристик, необходимых для обоснованной оценки

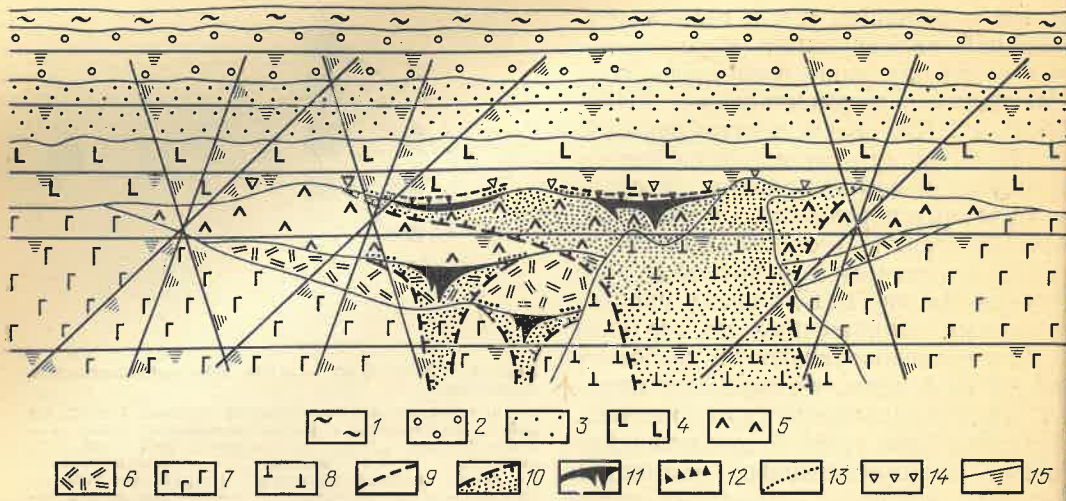


Рис. 4. Модель медноколчеданного месторождения

1—4 — образования, перекрывающие колчеданоносные вулканогенные формации: *1* — наносы, *2* — граувакки, *3* — вулканогенные молассоиды, *4* — вулканиты базальт-андезитобазальтовой формации нерасчлененные; *5—9* — колчеданоносная непрерывная формация: *5* — дацитовая толща, *6* — андезитодацитовая толща, *7* — андезитобазальтовая и базальтовая толщи нерасчлененные, *8* — экструзивные купола риолитовых порфиров, *9* — вулканомиктовые породы; *10* — метасоматиты серицитолитовой формации с вкрапленностью сульфидов; *11* — рудные тела; *12* — рудокласты; *13* — послойная сульфидная вкрапленность; *14* — надрудная гематитизация; *15* — варианты положения эрозионного среза при различном залегании рудных тел и вмещающих пород

изученной площади и определения направлений дальнейших геологоразведочных работ.

Признаки, позволяющие надежно опознавать объект прогноза и поисков, оцениваются по выявляемости их различными методами. Цель такого анализа — выделить из набора известных методов поисков обязательные (наиболее информативные), дублирующие и избыточные с последующим исключением из комплекса двух последних категорий. Оптимизация в звене «методы—признаки» позволяет сформировать набор методов, необходимых для решения задач соответствующей стадии.

Обе охарактеризованные процедуры выполняются для каждого блока ППК. Анализ проводится экспертами вручную или в человеко-машинном варианте.

Оптимизация в звеньях «признаки—объекты» и «методы—признаки», проведенная в каждом блоке, обеспечивает создание полного, основного варианта ППК. Вместе с тем различная степень благоприятности геологической обстановки для выполнения работ по прогнозу и поискам, а также высокая эффективность отдельных методов в определенных условиях позволяют получить сокращенные варианты реализации ППК. Это возможно в тех случаях, когда методы, поставленные на ранних стадиях, позволяют решать задачи последующих стадий. Кроме того, сокращенные варианты допустимы, когда на изучаемой площади те или иные признаки выявлены предшествующими работами. Сокращение полного варианта ППК производится за счет исключения части методов в стадиях или отдельных стадий полностью. Сокращенные варианты могут быть приложимы к определенным частям площади, отвечающим перечисленным выше условиям, при этом не исключается необходимость постановки всех работ ППК на остальной площади.

В конечном виде схемы ППК представляются в графической форме с отображением всех элементов (стадии, методы, признаки, объекты, цели работ) и показом полных и сокращенных вариантов. Для удобства пользования и обучения могут применяться соответствующие электрифицированные схемы в стендовом и портативном исполнении.

Применение ППК при планировании и проведении работ. Реализации ППК для конкретных геолого-промышленных типов месторождений предшествует анализ состояния прогнозной и поисковой изученности соответствующих территорий. Для этого составляются специализированные карты, отражающие ранее выявленные признаки объектов разного ранга. Территория намечаемых работ разделяется по сочетаниям признаков на площади или участки, подготовленные для постановки работ соответствующих стадий с применением того или иного варианта ППК. Соответственно определяются содержание проектируемых работ и затраты на их реализацию.

При применении ППК учитывается возможность получения трех вариантов решения задач стадии (см. рис. 3): неопределенного, отрицательного и положительного. Первый требует возвращения к предшествующей стадии работ с постановкой более информативных методов, второй указывает на отсутствие объекта поисков на данной площади и является основанием для прекращения работ, третий соответствует обнаружению объекта и определяет возможность перехода к работам следующей стадии.

СППО и ППК, разработанные и применяемые в СССР, в последние годы начали использоваться в работах, выполняемых в рамках международного научно-технического сотрудничества и технического содействия. В частности, они были применены при составлении долгосрочной программы геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Республики Куба. В программе реализован принцип целевого планирования с определением для каждого вида намечаемых работ конкретных целей по развитию минерально-сырьевой базы на текущий период, ближнюю и дальнюю перспективу. Для конкретных объектов в соответствии с геологической и поисковой изученностью на базе моделей месторождений основных геолого-промышленных типов определены эффективные варианты ППК и очередность работ. Долгосрочная программа предусматривает рациональное распределение геологических кадров, оборудования и средств, направляемых на планомерное развитие минерально-сырьевой базы страны.

Изложенные принципы и методы формирования систем прогноз—поиски—оценка и прогнозно-поисковых комплексов применимы к различным видам минерального сырья и конкретным геолого-промышленным типам месторождений. Такие системы и комплексы должны рассматриваться в качестве основы технологии геологоразведочного процесса. Они определяют необходимость оптимизации, унификации и значительного увеличения эффективности поисковых и поисково-оценочных работ и дают возможность в короткие сроки с минимальными затратами последовательно решать задачи по выявлению и оценке месторождений полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кривцов А. И.* Оптимизация поисков медноколчеданных месторождений (на примере Урала). — Сов. геология, 1982, № 9, с. 12—21.
2. *Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Жариков М. Г.* Прогнозно-поисковые комплексы и принципы их формирования. — Разведка и охрана недр, 1983, 1, с. 17—22.
3. *Кривцов А. И., Нарсеев В. А.* Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы. — Сов. геология, 1983, № 1, с. 11—23.
4. *Рудоносность* и геологические формации структур земной коры. Под ред. Д. В. Рундквиста. Л., Недра, 1981.

МЕТОДОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ

УДК 553.981/.982.001

Б. П. КАБЫШЕВ, Д. И. ЧУПРЫНИН (УкрНИГРИ)

Методика прогнозных исследований в освоенных нефтегазоносных регионах

В освоенных регионах, где степень реализации потенциальных ресурсов УВ составляет 50 % и более, разведка затрудняется [10], что связано с поисками преимущественно мелких залежей нефти и газа в сложно построенных глубоких горизонтах и «слабых» ловушках (неантиклинальных и малоамплитудных поднятиях). Прогноз этих залежей требует существенной детализации исследований и более совершенных методов по сравнению с применявшимися на предшествующих этапах изучения. В таких условиях прогноз нефтегазоносности зон, стратиграфических комплексов, структур второго порядка и особенно локальных поднятий и отдельных ловушек до их ввода в бурение выступает как основной фактор, определяющий не только направление поисково-разведочного бурения, но и программу геологоразведочных и научно-исследовательских работ на всех этапах их проведения вплоть до оценки конечных результатов.

В старых, относительно хорошо изученных регионах требуется углубление и совершенствование методики прогнозных исследований на основе системного подхода к оценке геологических объектов. Нефтегазоносный регион представляет собой естественную природную систему с установившимся динамическим равновесием в распределении УВ по объему осадочного чехла. Процесс его изучения можно рассматривать как создание искусственной (информационной) модели, отражающей реальную структуру объекта и отвечающей целям исследования. Построение такой модели (проекта геосистемы) базируется на организации всей познавательной и практической деятельности, внутри которой создаются и проходят проверку на достоверность естественно-научные концепции.

Подобная модель может быть разработана только при достаточно полной информационной обеспеченности. Последнее практически гарантировано в освоенных нефтегазоносных регионах при правильной организации целенаправленной переработки накопленных материалов и оперативного анализа новых данных. Системная модель не должна быть простой суммой полученных сведений, она должна обладать новым (эмерджентным) свойством, на основе которого вырабатываются рекомендации, составляющие основу процедур принятия решений в сфере реальных объектов [13].

Целостная картина (представление) геологического объекта, обладающая эмерджентным свойством, может быть создана включением в контур получения, передачи и обработки информации следующих обязательных процедур: а) задание системной цели исследования; б) моделирование (физическое, математическое или геологическое); в) координация исследований (принятие решений); г) сопоставление результатов моделирования и деятельности в сфере реального объекта.

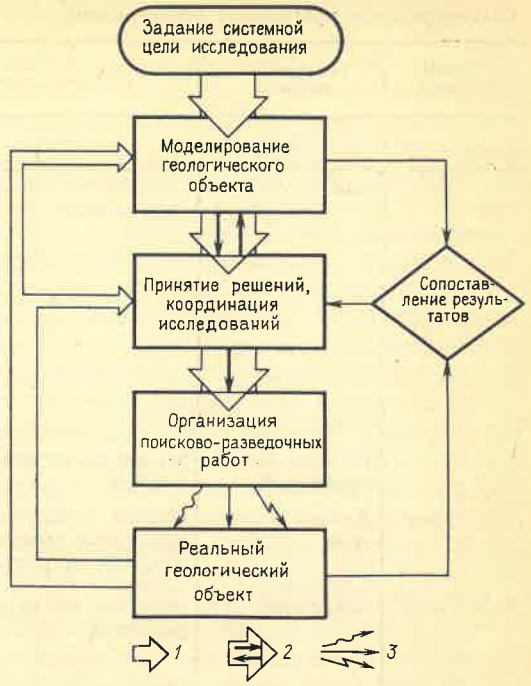
Целевая модель геологического объекта корректируется координирующим органом, например коллективом экспертов, по критерию минимума отклонения прогнозируемого параметра и его значения, зафиксированного в реальном объекте. Взаимосвязь перечисленных процедур с помощью информационных, функциональных и директивных потоков образует систему прогнозно-целевых исследований (рис. 1). В этой системе процедура «организация поисково-разведочных работ» относится к деятельности в сфере реального геологического объекта и реализует модельно-целевые представления о нем при выборе оптимального воздействия (бурение, постановка физических или геохимических работ

др.) для получения дополнительной информации или конечного продукта (углеводородов).

Основными направлениями системной реализации методики прогноза нефтегазоносности в освоенных регионах являются: повышение детальности исследований, учет трехслойной модели строения резервуаров нефти и газа, также обеспечение оптимального соотношения между комплексностью разработок и принципом наислабейшего звена по их влиянию на оценку нефтегазоносности. Комплексность исследований следует рассматривать как общеметодическое положение при решении задачи прогнозирования в целом. В конкретных же ситуациях нефтегазоносность объекта может определяться лишь единичными или даже одним критерием (наислабейшее звено) из анализируемых признаков. Для объектов разных масштабов наислабейшее звено изменяется, и его правильное выявление в комплексе критериев — одна из важнейших задач прогноза нефтегазоносности.

Одним из факторов, определяющих необходимость дальнейшего совершенствования систематизации и методики прогнозных исследований, является учет положения о трехслойном строении резервуаров нефти и газа [3, 7, 14]. В отличие от двухслойных резервуаров, характеризующихся резкими контактами флюидоупора (истинной покрышки) и коллектора, в трехслойных между ними присутствует толща пород (ложная покрышка), промежуточная как по положению в разрезе, так и по своим физическим параметрам. Она не обладает свойствами ни коллектора, ни флюидоупора. По литологическому составу ложные покрышки — глинистые алевролиты, трещиноватые аргиллиты, ангидриты и известняки [4, 7].

По В. Д. Наливкину и др. [9, 12], методика прогноза нефтегазоносности — это система приемов, направленных на определение (в положительном или отрицательном отношении) промышленной продуктивности объекта до оценки его глубоким бурением. Основным в методике является обоснование и выбор критериев прогноза, описание процедуры их получения, способов оперирования и, добавим,



Структура системы прогнозно-целевых исследований в нефтегазовой геологии

1 — поток информационного обеспечения, *2* — поток целевых и корректирующих директив, *3* — функциональные связи

выделение из них наислабейшего звена, а также контроль получаемых результатов. Прогнозные исследования классифицируются по задачам, методике (критериям) и объектам прогноза. Последние выделяются в плане и в разрезе. В большинстве случаев критерии прогноза связаны с объектами обоих типов и это позволяет обосновать основную систематизацию (классификацию) прогнозных исследований, которая в работе [12] названа уровнями прогноза — надрегиональный, региональный, зональный и локальный.

Для освоенных регионов актуальными задачами в соответствии с указанной систематизацией являются зональный и локальный прогнозы. Задачи регионального прогноза (установление промышленной нефтегазоносности области или бассейна для всего осадочного чехла или крупных литолого-стратиграфических комплексов) и тем более надрегионального в них уже решены. Зато задачи зонального и локального прогнозов весьма важны и требуют детализации.

Информационная основа методики прогноза нефтегазоносности (критерии

Систематизация прогнозных исследований

Уровень прогноза	Подуровень прогноза	Результаты прогноза	Основные анализируемые признаки
Зональный	Квазизональный	Карты перспектив нефтегазоносности по продуктивным комплексам	Условия генерации: содержание и тип РОВ содержание хлороформенного битуми степень катагенеза пород Условия миграции: градиент наклона пород соподчиненность структур разных по рядков Условия сохранности: качество региональных покрышек метаморфизм вод содержание УВ в растворенных га зах
	Собственно зональный	То же, по отдельным резервуарам	Качество коллекторов, покрышек подложек отдельных горизонтов
Локальный	Квазилокальный	Оценка нефтегазоносности локальных объектов по продуктивному комплексу	Локальные значения тех же призн ков, что и при квазизональном пр гнозе
	Собственно локальный	Оценка нефтегазоносности ловушек по отдельным горизонтам	Соотношение типов и морфологич ских параметров ловушек с мощн стями пород-коллекторов, флюид упоров, ложных покрышек и подл жек

прогноза) для крупного интервала разреза и отдельного резервуара существенно различаются. Поэтому целесообразно разделение зонального и локального прогнозов на два подуровня, учитывающих ранг объекта в разрезе осадочного чехла. Для уровней (видов) прогноза в отдельных резервуарах следует оставить термины, предложенные в работе [12],— зональный и локальный прогнозы, а для соответствующих территориальных объектов в рамках крупного интервала разреза (продуктивного комплекса) использовать указанные термины с приставкой «квази» — квазизональный и квазилокальный прогнозы, т. е. приближенные соответственно к зональному и локальному, как это было предложено нами ранее [3] только для локального уровня прогнозирования.

Другие теоретически возможные по этому принципу сочетания объектов прогноза в плане и разрезе не являются актуальными для практической реализации. Так, региональный прогноз важен для чехла в целом и крупных литолого-стратиграфических комплексов и нецелесообразен для отдельных коллекторских горизонтов. Последнее обусловлено тем, что, во-первых, отдельные проницаемые гор зонты обычно не выдерживаются всему нефтегазоносному региону, а в вторых, они перспективны только в о дельных его частях (зонах). Поэтом оценка их нефтегазоносности практ чески сводится только к зональном и локальному уровням прогноза.

Исходя из сказанного, в освоенны нефтегазоносных регионах следует в деляти четыре подуровня (вида) про нозных исследований (таблица).

Квазизональный прогноз — это оценка нефтегазоносности по ком лексу геологических критериев час нефтегазоносной области (зона, ра он) в пределах литолого-стратиграф ческого (продуктивного) комплек отложений. Результатом являют карты двух типов — качественной количественной (плотности прогно ных ресурсов) оценки перспектив не тегазоносности. Данный вид прогно служит основой выбора направлен геофизических работ для выявления подготовки объектов к бурению и з концентрации поисково-разведочного параметрического бурения.

Собственно зональный пр гноз представляет собой оценку не тегазоносности отдельных резервуаро с учетом трехслойной модели их стро

я в пределах части нефтегазоносной ласти (зоны, района, участка). Ре льтатом являются карты качества ллекторов проницаемых горизонтов покрышек, с разделением последних флюидоупоры и ложные покрышки, также составленные на их основе арты перспектив нефтегазоносности я отдельных резервуаров. С карт нального прогноза снимаются пара етры для локального прогноза объек в и, кроме того, они используются и постановке целенаправленных сей моразведочных работ для поисков не тиклинальных литолого-стратигра ических ловушек.

Квазилокальный прогноз — о оценка по комплексу геологиче их признаков нефтегазоносности ло льной структуры в пределах литоло -стратиграфического (продуктивно) комплекса с определением качест енных (продуктивная, непродуктив ая) и количественных параметров рогнозируемых скоплений УВ (фазо е состояние, крупность, ресурсы по тегории C_3). Прогноз служит осно й при установлении очередности збуривания площадей на определен ый комплекс или проведении деталь ых сейсмических работ с целью под товки перспективного объекта к бу нию.

Собственно локальный про ноз представляет собой оценку неф газоносности объекта, локализован ого как по площади (антиклинальная труктура III порядка, различные ти ы неантиклинальных ловушек), так и о стратиграфическому разрезу (от льный резервуар нефти и газа). Вы олняется с учетом трехслойной моде и строения резервуаров. Результатом рогноза являются качественная оцен а перспективности ловушки и — при ложительном заключении — опреде ение фазового состояния УВ и раз еров прогнозируемой залежи. Ло льный прогноз служит основанием я постановки поискового бурения на нкретные ловушки, особенно неанти инального типа.

Охарактеризованные четыре вида рогнозных исследований, актуальных я освоенных регионов, различаются масштабам объектов исследования, главное по анализируемым геологи ским признакам, что определяет различия в методике работ. Квазизональный прогноз основывается на геологических признаках, которые по территории региона и особенно разрезу изменяются не резко и характеризуются довольно широкими интервалами значений, благоприятных для образования залежей УВ (мощность комплекса, тип и количество рассеянного органического вещества в породах, степень катагенеза пород, метаморфизм и сульфатность подземных вод, состав и упругость водорастворенных газов и др.). В целом эти признаки характеризуют условия генерации, миграции и сохранности УВ в соответствии с современными представлениями осадочно-миграционной теории происхождения нефти и газа и поэтому определяют необходимые и достаточные критерии оценки промышленных скоплений в границах литолого-стратиграфического комплекса отложений.

Анализировать указанные признаки для отдельных резервуаров нет смысла, так как они будут характеризоваться одинаковыми или близкими значениями во всех резервуарах одного продуктивного комплекса. Однако ограничиться только ими нельзя, так как положительная оценка перспектив нефтегазоносности объекта по признакам квазизонального прогноза не является условием обязательной продуктивности отдельных резервуаров данного комплекса. В некоторых пластах могут оказаться неблагоприятными признаки, непосредственно к ним относящиеся, — мощность и коллекторские свойства проницаемого горизонта, качество покрышки и наличие промежуточных толщ в кровле и подошве коллектора, соотношение мощности ложной покрышки и амплитуды локального поднятия или экранирующих сбросов для моноклинальных блоков. В этом и состоит актуальность выделения собственно зонального и локального прогнозов в самостоятельные виды прогнозных исследований, выполняемых путем анализа контрастно изменяющихся признаков.

Квазилокальный прогноз выполняется по тем же признакам, что и квазизональный, но учитываются их локальные изменения по площади. Специфическими (дополнительными) для этого уровня являются признаки, ха-

рактеризующие параметры локального объекта (площадь, амплитуда, интенсивность) и его соотношение со структурами второго порядка.

Виды прогнозных исследований тесно взаимосвязаны между собой и в общем все являются обязательными в освоенных нефтегазоносных регионах. Выполняются они в такой последовательности — квазизональный, квазилокальный, зональный и локальный прогнозы. Однако в конкретных условиях могут возникнуть различные ситуации с точки зрения актуальности того или другого видов прогноза, некоторые из них могут быть исключены. Так, для структур в неперспективной зоне (т. е. характеризующихся отрицательной оценкой на основе квазизонального прогноза) выполнение зонального и локального прогнозов лишено смысла, а квазилокальный будет дублировать результаты квазизонального, и его проведение целесообразно лишь для контроля выводов по последнему. В переходных (от высокоперспективных к неперспективным) зонах нефтегазоносных бассейнов, где обычно наблюдается чередование продуктивных и непродуктивных структур, целесообразно проведение всех четырех видов прогноза, однако локальный прогноз имеет смысл только для объектов с положительной прогнозной оценкой на квазилокальном уровне. В высокоперспективных зонах, где коэффициент промышленных открытий достигает максимального значения, наиболее актуальными являются квазизональный, зональный и локальный прогнозы, так как положительная оценка на квазилокальной стадии нередко бывает очевидной и без специальных исследований.

При охарактеризованном подходе к систематизации прогнозных исследований локальный прогноз как их заключительная стадия учитывает критерии квазизонального нефтегазоперспективного районирования, признаки локализации оценок по площади и специфику их дифференциации по разрезу, т. е. все необходимые и достаточные условия, определяющие нефтегазоносность недр как единую геосистему.

Каждый вид прогнозных исследований в большей или меньшей мере может выполняться геологическими методами и приемами или теми же методами с использованием математики и современных средств вычислительной техники.

Квазизональный прогноз предусматривает составление раздельно по продуктивным комплексам карт качественной и количественной оценки перспектив нефтегазоносности в масштабах от 1 : 500 000 до 1 : 100 000 (в зависимости от степени изученности и сложности строения региона). В процессе исследования проводится обобщение материала по отдельным геологическим признакам с составлением соответствующих карт: 1) содержания и типов органического вещества и хлорофоров (крупно- и среднеамплитудных битумов, 2) катагенеза пород, 3) мощности комплекса, 4) палеотектонической, 5) температуры, 6) структурной, 7) тектонической, 8) классов коллекторов комплекса, 9) песчанистости разреза, 10) мощности и качества региональной покрышки, 11) метаморфизма подземных вод, 12) сульфатности вод, 13) общей газонасыщенности вод, 14) содержания и упругости водорастворенных углеводородных газов. В зависимости от особенностей степени изученности региона перечень карт отдельных критериев может в определенной степени изменяться.

Способ построения результирующих карт качественной оценки перспектив зависит от принципа сочетания отдельных критериев при определении сводных условий нефтегазоносности. Для этого в работе [6] предлагается строить карты отдельных факторов, обобщающих критерии геохимических, литологических и гидрогеологических условий нефтегазоносности. Степень перспективности зон и участков по каждому фактору оценивается по четырехуровневой шкале в баллах (1, 0,7, 0,4, 0,1). Карты качественной оценки перспектив (раздельно на нефть и газ) составляются путем сочетания сводных карт условий по каждому фактору, а общая оценка определяется произведением баллов, присущим этому участку. Такой подход фактически реализует принцип наислабейшего звена для предметно-специализированных (а не генетических) условий нефтегазоносности.

Б. П. Кабышевым [2] предложена методика построения карт качественной раздельной оценки перспектив нефте- и газоносности, в которой геологические признаки группируются по условиям, характеризующим генерацию, миграцию, аккумуляцию и сохранность УВ, что позволяет при их обобщении выполнять районирование территории по степени перспективности по принципу наислабейшего звена [12], согласно которому она контролируется наименее благоприятными признаками или условиями в целом.

На картах отражаются два типа ловушек — обычные антиклинальные структуры (крупно- и среднеамплитудные поднятия). В соответствии с геолого-математической моделью формирования месторождений они характеризуются неодинаковыми способностями к аккумуляции УВ в зависимости от проявления латеральной или вертикальной миграции, что весьма четко видно на примере Днепровско-Донецкой впадины [1]. Обычные антиклинальные структуры способны улавливать нефть и газ на путях как латеральной, так и вертикальной миграции, а слабые — только на путях их латеральной миграции. Слабые ловушки могут содержать залежи и быть перспективными преимущественно в продуктивных (питающих) комплексах с сингенетичной нефтегазоносностью, а обычные антиклинальные — как в питающих, так и в принимающих комплексах. В целом последние характеризуются более широким спектром перспективности по сравнению со слабыми, чем во многом и объясняется их более частая нефтегазоносность. Однако в некоторых случаях обычные антиклинальные ловушки, особенно крупноамплитудные, могут быть менее перспективными.

Техника составления карт качественной раздельной оценки перспектив состоит в следующем. Сначала строятся карты условий генерации и сохранности (с эволюцией) скоплений нефти и газа, на которых на основании сочетания соответствующих геологических критериев выделяются зоны весьма хорошей, хорошей, удовлетворительной и плохой генерации и сохранности УВ. Из перечисленных выше геологических признаков квазизонального прогноза первые пять определяют условия генерации, 6—10 — миграции, 11—14 — сохранности УВ.

Для газа весьма хорошие условия генерации существуют в главной зоне газообразования (ГЗГ); хорошие — в главной зоне нефтеобразования (ГЗН); удовлетворительные — на участках, где в ГЗН находится лишь часть продуктивного комплекса (по мощности); посредственные и плохие — в зонах, где породы по степени метаморфизма не достигли ГЗН (среднедлиннопламенной стадии $МК_1$). Для нефти и конденсата весьма хорошие условия генерации отмечаются в зонах, где отложения с сапропелевым и гумусово-сапропелевым ОВ на полную мощность продуктивного комплекса находятся в ГЗН или достигли более высокой стадии метаморфизма; хорошие — на участках, где в этих условиях находится нижняя часть комплекса; удовлетворительные — там, где степень метаморфизма пород в РОВ достигла раннедлиннопламенной стадии.

Условия сохранности и эволюции скоплений УВ отражаются на сводных картах в виде изменения следующих признаков: степени метаморфизма и газонасыщенности подземных вод, содержания УВ в водорастворенных газах, класса региональных покрышек, температуры недр. Данную группу условий можно подразделить на две подгруппы — условия сохранности и эволюции скоплений УВ. Под первыми подразумевается сохранение залежей от разрушения в зоне гипергенеза (на периферии нефтегазоносного бассейна), под вторыми — разрушение сформировавшихся залежей при погружении их в зону глубже оптимальных условий образования: для газовых скоплений — в зону апокатагенеза (глубинную зону кислых газов, по А. Л. Козлову [5]), для нефтяных — ниже ГЗН.

На анализируемой территории по данному фактору выделяются четыре категории земель, характеризующихся соответственно весьма хорошими, хорошими, удовлетворительными и плохими условиями сохранности УВ. Для разных комплексов и регионов критерии выделения зон могут несколько

различаться в зависимости от их особенностей и наличия фактического материала.

Условия эволюции нефти существенно ухудшаются с повышением температуры и степени катагенеза пород, превышающих таковые для ГЗН. Для палеозойских нефтегазоносных бассейнов весьма хорошие и хорошие условия эволюции для нефти целесообразно выделять в зоне пластовых температур до 100 °С, удовлетворительные — при 100—130 °С, а плохие — при температуре более 130 °С. Для газа плохие условия с точки зрения эволюции залежей выделены в зонах апокатагенеза.

Высокоперспективные земли по слабым ловушкам выделяются там, где весьма хорошие условия сохранности сочетаются с весьма хорошими условиями генерации соответствующего типа УВ в данном комплексе, а по обычным антиклинальным ловушкам — в зонах, где такие условия сохранности совпадают с весьма хорошей генерацией анализируемого или хотя бы одного из подстилающих комплексов. Перспективные земли по слабым ловушкам выделяются в зонах с хорошей сохранностью и хорошей или весьма хорошей генерацией, на участках весьма хорошей сохранности и хорошей генерации. По обычным антиклинальным ловушкам перспективные земли выделяются, кроме того, при генерации не ниже хорошей, хотя бы для одного из подстилающих комплексов. К малоперспективным (умеренно перспективным) землям относятся по слабым ловушкам — зоны удовлетворительной сохранности при генерации не ниже удовлетворительной (или наоборот). По обычным антиклинальным ловушкам такие земли выделяются при удовлетворительной генерации анализируемого и хотя бы одного из подстилающих комплексов. К бесперспективным и весьма малоперспективным землям по обоим разновидностям ловушек относятся зоны с плохими условиями сохранности независимо от условий генерации анализируемого и подстилающих комплексов.

Составленные таким образом карты перспектив при необходимости корректируются с учетом условий зональной миграции УВ, например, в части повы-

шения степени перспективности не[illegible]торых зон с невысоким генерационн[illegible] потенциалом за счет подтока сюда [illegible] из других участков.

Карты качественной оценки пе[illegible]пектив имеют самостоятельное зна[illegible]ние при определении направлений г[illegible]логоразведочных работ, особенно [illegible] ориентации последних на ловуш[illegible] разных типов, а также служат осно[illegible] при количественной оценке прог[illegible]ных ресурсов УВ [8]. Такие карты [illegible]ляются одним из факторов нефте[illegible]логического районирования терри[illegible]рии и выделения эталонных объект[illegible] Последние по возможности след[illegible] выбирать в зонах всех градаций [illegible]пени перспективности. Это исключ[illegible] необходимость переноса значе[illegible] плотности ресурсов с высокоперс[illegible]тивных на малоперспективные зон[illegible] расчета соответствующего коэфф[illegible]ента аналогии.

Зональный прогноз, как показ[illegible] выше, сводится к составлению для [illegible]дельных резервуаров карт контрас[illegible] изменяющихся признаков и ка[illegible] перспектив нефтегазоносности. Ма[illegible]таб карт тот же или несколько к[illegible]нее, чем при квазизональном прог[illegible] Обязательный перечень карт вклю[illegible] модели площадного распростран[illegible] мощностей: коллекторского горизо[illegible] флюидоупора, промежуточных пач[illegible] кровле (ложная покрышка) и подо[illegible] коллектора.

Прогноз коллекторов представ[illegible] собой специальную задачу и поэт[illegible] здесь рассматривается лишь в об[illegible] чертах. Один из вариантов соста[illegible]ния карт коллекторов разраб[illegible] В. А. Бабадаглы и др. [11]. На [illegible] отражаются: а) мощность песч[illegible] алевритовой литофации и участк[illegible] отсутствия; б) количество песч[illegible] алевролитовых пластов в объеме [illegible]родинамически единого гориз[illegible] в) преобладающие классы пород[illegible]лекторов. Эффективная мощность [illegible]ризонтов определяется из граф[illegible] стохастической связи ее с общей [illegible]ностью песчано-алевритовой лит[illegible]ции. Прогноз физических свойств [illegible]род-коллекторов осуществляется [illegible] базе детальных литолого-фациал[illegible] и петрографических исследова[illegible] Изучаются также эпигенетиче[illegible] преобразования пород-коллектор[illegible]

Может быть использована и другая [illegible]етодика, заключающаяся в выделе[illegible]ии пластов-коллекторов разных клас[illegible]в и определении их толщины по [illegible]мплексу промыслово-геофизических [illegible]раметров с использованием геолого-[illegible]атематических методов и теории рас[illegible]знавания образов, подобно тому, как [illegible]о предложено авторами для прогно[illegible] качества покрышек [4]. При этом [illegible]бирается рациональный комплекс [illegible]омыслово-геофизических данных, по[illegible]ляющий оценить как емкостно-[illegible]льтрационные свойства коллекто[illegible]в, так и характер их флюидонасы[illegible]енности. По результатам опробова[illegible]я и геофизического заключения о [illegible]зоносных, нефтеносных, водоносных [illegible]ластах и плотных разностях пород от[illegible]раются эталоны, которые затем [illegible]уппируются по подобию геофизиче[illegible]их характеристик (например, мето[illegible]м кластерного анализа). После ана[illegible]за полученных групп и их геологи[illegible]ской интерпретации можно сформу[illegible]ировать решающее правило для ди[illegible]ностики качества коллекторов.

Для построения трехслойной модели [illegible]ервуаров необходимо составить [illegible]рты распространения, а также мощ[illegible]сти локальных флюидоупоров нефти [illegible]аза и ложных покрышек. Для раз[illegible]ения слабопроницаемых толщ на [illegible]юидоупоры и ложные покрышки [illegible]здельно для газа и нефти) целесо[illegible]разно применение методики, предло[illegible]нной авторами [4] и основанной на [illegible]ализе комплекса промыслово-геофи[illegible]ческих параметров с применением [illegible]лого-математических моделей.

По результатам геофизического ис[illegible]дования всех пробуренных в анали[illegible]руемой зоне скважин с использова[illegible]м указанной методики дифференци[illegible]ются слабопроницаемые толщи над [illegible]лекторскими горизонтами перспек[illegible]ной части разреза. Полученные [illegible]ные служат основой для интерпо[illegible]ционного и экстраполяционного по[illegible]роения карт распространения и мощ[illegible]тей трех классов покрышек. Пос[illegible]ние вместе с коллекторскими гори[illegible]тами изображаются также на про[illegible]лях, составляемых по главным на[illegible]влениям зоны. На основе комп[illegible]сного анализа данных по коллек[illegible]скому горизонту, кровельному и по[illegible]венному флюидоупорам и проме-

жуточным толщам (их сочетания с использованием принципа наислабейшего звена) составляется итоговая карта перспектив нефтегазоносности соответствующего резервуара с дифференциацией территории по степени перспективности ловушек разных типов.

Квазилокальный прогноз, предусматривающий оценку нефтегазоносности локальных объектов в пределах комплекса отложений, практически сводится к анализу набора геологических признаков по локальным антиклинальным структурам, объединяющим серию ловушек в отдельных резервуарах. Неантиклинальные ловушки, особенно литолого-стратиграфические, в пределах локального участка чаще встречаются одиночно. Квазилокальный прогноз наиболее эффективно выполняется с использованием математических методов и ЭВМ. Одной из важных задач этого вида прогнозирования является оптимальное сочетание признаков квазизонального и собственно локального подуровней. С одной стороны, критерии должны характеризовать условия генерации и миграции УВ (зональные), с другой — аккумулирующие и консервативные способности локального объекта. Эта проблема обычно решается существенным увеличением размеров признакового пространства.

В качестве математического аппарата для решения типовых задач квазилокального прогноза наиболее широко и эффективно применяются многовариантные схемы методов распознавания образов, факторные и регрессионные модели. Решение этой задачи разделяется на следующие этапы: а) качественный прогноз нефтегазоносности объекта (по принципу «продуктивный — непродуктивный»); б) прогноз крупности ожидаемого месторождения; в) количественная оценка ресурсов категории C_3; г) прогноз фазового состояния УВ (качественная и количественная оценки); д) согласование всех результатов прогнозирования и принятие решения о перспективности объекта поискового бурения.

Прогноз нефтегазоносности на всех этапах сопровождается характеристикой вероятности, которая дает представление о степени надежности оцениваемого объекта. Величина вероят-

ности для всех известных структур может быть рассчитана с помощью методов распознавания образов [9, 15] и закартирована по всей территории. Полученная карта фактически служит для проверки результатов квазизонального прогноза, так как отражает нефтегазоперспективность анализируемого комплекса и имеет самостоятельное значение для выбора первоочередных объектов поискового бурения.

Аналогичным образом может быть построена карта вероятности отнесения структур к наиболее крупным месторождениям или к классу нефтяных или газовых скоплений. Многовариантные оценки согласуются с помощью специальных правил теории выбора и принятия статистических решений [15]. Построенный комплект карт, величины запасов категории C_3, а также их максимально и минимально возможные значения для структур служат основой для проведения локального прогноза.

Локальный прогноз выполняется для локальных объектов по отдельным резервуарам и включает оценку трех признаков: а) коллекторов; б) покрышек (с разделением на флюидоупоры и ложные покрышки); в) продуктивности ловушек. Для прогнозно продуктивных ловушек оцениваются фазовое состояние и перспективные ресурсы УВ. В зависимости от наличия фактического материала и технических возможностей локальный прогноз может выполняться на основе: а) качественной оценки его составных частей; б) многомерных связей геологических признаков с использованием математических методов и ЭВМ. Данные по коллекторам, флюидоупорам и ложным покрышкам для конкретных локальных объектов снимаются с соответствующих карт, составленных на зональном уровне прогноза. Тип и морфологические параметры ловушки определяются по результатам сейсморазведки.

Собственно локальный прогноз заключается в сопоставлении морфологических параметров локального объекта с особенностями залегания коллектора, флюидоупора и ложной покрышки в его пределах. Особенно важен анализ распространения ложных покрышек, которые существенно вли ют на объем и даже на формирован ловушек [7, 14]. Для локального по нятия высота ловушки (максималь возможная высота залежи нефти и г за) в этом случае определяется к разность между амплитудой структу по кровле коллектора и толщин ложной ловушки на участке крити ской седловины. Если толщина ложн покрышки превышает амплитуду по нятия, то последнее перестает бы ловушкой для УВ.

Еще бо́льшие ограничения налич промежуточной толщи накладывает перспективность неантиклинальных вушек разных типов. Аккумулиру щие способности тектонически экра рованных блоков моноклинально легающих пород зависят от типа и а плитуды сбросов. Такая структур форма может быть ловушкой для уг водородов, когда не только коллект но и промежуточные толщи по сбр граничат с флюидоупором соседн крыла. При согласном сбросе это стигается при амплитуде бо́льшей, суммарная толщина коллектора и п межуточных толщ в его кровле и дошве. Высота тектонически экрани ванной ловушки в этом случае ра разности между амплитудой сброс суммарной мощностью коллектора промежуточных толщ в его кровл подошве.

При несогласном экранирую сбросе структурная форма станов ловушкой, когда амплитуда сбр больше ложной покрышки. Высота вушки в таком случае равна разно между амплитудой сброса и толщи ложной покрышки.

Объекты с литологическим и ст тиграфическим выклиниванием м становиться ловушкой при усло что в направлении вверх по восста пород одновременно с коллекто ниже его или на небольшом расс нии выше выклиниваются также ная покрышка и промежуточная ща в подошве коллектора. В про ном случае зона выклинивания лектора не является ловушкой дл леводородов независимо от толщ ложной покрышки. Только ее по выклинивание обеспечивает возм ность аккумуляции УВ в литолог ски или стратиграфически выклин щемся коллекторе. Высота литологической и стратиграфической ловушки авна разности отметок подошвы флюдоупора на оконтуривающей изогипсе и кровли коллектора в точке его ыклинивания по разрезу.

Принятие решения о продуктивности объекта осуществляется по принципу наислабейшего звена. Объект итается продуктивным, если все признаки — составляющие локального рогноза — имеют положительную характеристику. Если же хотя бы один з них оценивается отрицательно (нет стинной покрышки, толщина ложной окрышки больше амплитуды поднятия или сброса, выклинился коллектор, поднятие по анализируемому горизонту выполаживается), локальный объект оценивается как непродуктивный. Однако даже положительная оценка всех элементов не гарантирует промышленной нефтегазоносности такой ловушки и тем более ее полное о замка на критическом направлении) заполнение углеводородами. Это условлено тем, что параметры по ждому признаку определяются с второй погрешностью. На продуктивность ловушки влияет также взаимосвязь геологических признаков друг с другом, хотя при локальном прогнозе кое взаимовлияние сказывается в еньшей степени, чем при квазилокальном.

При качественном варианте локального прогноза вероятность существования залежи в ловушке определяется к произведение вероятностей наличия коллектора, флюидоупора, структуры (подготовленной сейсморазведкой) и перспектив ее нефтегазоносности. Три первых параметра определяются на основе эмпирических данных геологических причинах отрицательных результатов поискового бурения в ионе, последний является достоверностью квазилокального прогноза нефтегазоносности.

Для объектов с положительным прогнозом нефтегазоносности известным способом по объемной формуле ениваются перспективные ресурсы В, а также фазовое состояние прогнозируемых залежей. Заключение о следнем делается на основе имеющихся данных по квазизональному и квазилокальному прогнозам с учетом выводов о прогнозируемых классах покрышек. Принимаются во внимание также тип залежей на соседних площадях и их гипсометрические положения относительно анализируемого объекта. Это позволяет учесть возможное проявление принципа дифференциального улавливания УВ.

Второй вариант локального прогноза предусматривает многомерную оценку тех же признаков, что и при качественном анализе, но с использованием математических методов и ЭВМ. Актуальность этого варианта обусловлена тем, что на продуктивность, высоту залежи и запасы ловушки влияет также взаимосвязь геологических признаков друг с другом, которую при одномерном анализе учесть невозможно. Данный вид прогноза можно выполнять в достаточно изученном регионе, где анализируемые объекты с известными залежами нефти и газа поддаются сравнению. Продуктивность ловушки и тип залежи по фазовому состоянию УВ определяются методами распознавания образов, а высота залежи и перспективные запасы — с помощью регрессионного анализа.

В заключение отметим, что реальным путем повышения достоверности и надежности прогнозных исследований в освоенных регионах, а следовательно повышения эффективности геологоразведочных работ на нефть и газ, является переход на системную обработку информации, характеризующей детальное строение продуктивных комплексов и главное — продуктивных резервуаров в пределах зон, локальных площадей и ловушек нефти и газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арсирий Ю. А., Витенко В. А., Кабышев Б. П.* Закономерности формирования, размещения и направление поисков месторождений нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине.— В кн.: Закономерности размещения и методика поисков залежей нефти и газа в глубокозалегающих горизонтах нефтегазоносных регионов Украины. Львов, 1977, с. 3—15.
2. *Кабышев Б. П.* Методика зонального прогноза нефтегазоносности с учетом типа ловушек. — В кн.: Тезисы докладов на юбилейных губкинских чтениях по проблеме количественного прогнозирования нефтегазоносности недр. М., 1981, с. 126—130.
3. *Кабышев Б. П., Чупрынин Д. И.* Принципы и методика локального прогноза нефте-

газоносности. — Геология нефти и газа, 1984, № 11, с. 18—23.
4. *Кабышев Б. П., Чупрынин Д. И., Шевякова З. П.* Методика разделения флюидоупоров и ложных покрышек нефти и газа на основе комплекса геолого-геофизических данных. — Сов. геология, 1983, № 12, с. 14—23.
5. *Козлов А. Л.* Превращение нефти и газа в глубоких зонах седиментационных бассейнов. — В кн.: Осадочно-миграционная теория образования нефти и газа. М., Наука, 1978, с. 145—168.
6. *Критерии* раздельной оценки перспективности и газоносности/Г. А. Амурский, М. Д. Белонин, И. С. Гольдберг и др. Л., Недра, 1974.
7. *Локальный* прогноз нефтегазоносности на основе анализа строения ловушек в трехслойном резервуаре (методические рекомендации)/В. Д. Ильин, С. П. Максимов, А. Н. Золотов и др. М., изд. ВНИГНИ, 1982.
8. *Методические* указания по количественной оценке прогнозных ресурсов нефти, газа и конденсата. М., изд. ВНИГНИ, 1983.
9. *Методы* оценки перспектив нефтегазоносности. Под ред. Н. И. Буялова, В. Д. Наливкина. М., Недра, 1979.
10. *Основные* проблемы нефтегазовой геол гии/В. В. Семенович, С. П. Максим М. К. Калинко, Л. Н. Смирнов. — Сов. г логия, 1977, № 11, с. 44—57.
11. *Прогнозирование* гранулярных коллектор в нижнем карбоне ДДВ/В. А. Бабадаг В. Г. Демьянчук, Т. С. Изотова и др. Геологический журнал, 1982, № 4, с. 1 24.
12. *Теоретические* основы прогнозирова нефтегазоносности/В. Д. Наливкин, М. Белонин, В. С. Лазарев, Г. П. Све ков. — Геология нефти и газа, 1977, № с. 7—12.
13. *Трофимук А. А., Дмитриев А. И.* Неф прогноз как информационная проблема В кн.: Математические методы реше прогнозных задач нефтяной геологии. Новосибирск, 1978, с. 3—35.
14. *Филиппов Б. В.* Типы природных резерв ров нефти и газа. Л., Недра, 1967.
15. *Чупрынин Д. И.* Формализация проце принятия решений в многовариантных дачах прогноза нефтегазоносности. — В Геолого-математическое моделирование нефтяной геологии. Л., изд. ВНИГРИ, 19 с. 96—107.

УДК 550.8.05 : 681.3 : 549.08

Е. М. БУРОВА (МГУ), В. М. МАЛОВ, Г. А. СИДОРЕНКО,
Б. М. ЩЕДРИН (ВИМС)

Автоматический качественный фазовый анализ минеральных смесей с помощью ЭВМ

При поисках, разведке и оценке запасов минерального сырья, минералогическом картировании месторождений, а также на всех этапах процесса переработки руд и концентратов основным и часто единственным методом определения полного фазового состава образца является рентгеновский дифрактометрический анализ (РФА). Результаты его наиболее полно характеризуют пробу как ассоциацию минералов и дают их количественное содержание. Научно-технический прогресс и неизбежно связанные с ним возрастающие объемы геологоразведочных работ требуют проведения массовых анализов с быстрым получением ответа. На сегодняшний день методика экспрессного количественного фазового анализа практически разработана. Созданы рентгеновские дифрактометры с автоматическим съемом и обработкой информации.

Однако первый этап фазового анализа — качественный анализ — проводится традиционными методами идентификации фаз и, следовательно, на его результаты влияет субъективный фактор, обусловленный различной квалификацией исследователей. Это снижает и производительность, и объективность рентгенографического фазового анализа. Отсюда вытекает актуальность задачи автоматического определения качественного состава поликристаллических смесей, в особенности природных объектов — горных пород, руд и продуктов их технологического передела.

Специфика идентификации минераль фаз обусловлена тем, что реальные усло образования и существования минерала зывают отклонение кристаллической стру ры от идеализированной модели, измене степени и характера упорядоченности крист лической структуры. В состав минерала мо входить изоморфные примеси, наблюдае явление текстурированности. Все это пр дит к искажению межплоскостных расстоя и интенсивностей рефлексов и затрудняет агностику фаз. Поэтому практика фазо анализа минерального сырья приобрет принципиальное значение.

Многие годы и в Советском Союзе [1, 2, и за рубежом [3, 4, 5] ведутся работы по данию систем, обеспечивающих автомат цию качественного фазового анализа. Си мы опробованы в основном на простых сях металлов и окислов. Оптимальной п ставляется разработка ФАЗАН [1, 2], к рая и была применена к РФА минералы объектов.

Система программы качественного фазо анализа ФАЗАН поставлена на машинах рии ЕС с библиотекой эталонных спект содержащей более 2000 минералов и запи ной на магнитную ленту в НПО «Буре ник» (Ленинград). При транспортации у опыт эксплуатации аналогичной системы БЭСМ-6 и в программные модули внесены ответствующие изменения. Задача опред

ия фазового состава решается в несколько тапов. На первом этапе из библиотеки эта онных спектров производится отбор фаз по яти реперным (сильнейшим) линиям спектра утем сопоставления их с наиболее интенсив ыми линиями образца. Далее линии отобран ого множества эталонов сравниваются с ли иями образца по всем линиям спектров эта онов. На этом этапе рассчитываются крите ии соответствия спектров эталонов спектру бразца и список отобранных фаз упорядочи ается по степени достоверности их вхожде ия в исследуемую смесь. Количество отобран ых фаз не превышает 50.

Математическая модель качественного фазо ого анализа реализована в форме отбора из иблиотеки эталонов фаз, линейная комбина ия спектров которых наиболее точно соответ твует спектру многофазного образца:

$$I^{\text{обр}}(H) \approx \sum_{p=1}^{M} C_p I^{\text{в.ф}}(H) = I^{\text{мод}}(H);$$

$$H = \text{entier}\left[\frac{1000}{d}\right],$$

де d — межплоскостное расстояние; C_p — ко ффициент, характеризующий вероятность хождения фазы в смесь; M — количество аз библиотеки; $I^{\text{обр}}(H)$, $I^{\text{в.ф}}(H)$, $I^{\text{мод}}(H)$ — нтенсивности линий спектра соответственно бразца, вероятной фазы смеси и модели.

Если интенсивности измеряются в абсолют ых единицах, то коэффициенты C_p соответ твуют концентрации фаз в смеси. Однако пектры фаз даются по относительной шкале, реально значения имеют смысл условных онцентраций. Решение задачи сводится к вы ору значения C_p из интервала $0 \leqslant C_p \leqslant 1$ ля списка фаз, который определен на первом тапе. Коэффициенты условных концентраций ределяются путем минимизации функциона а:

$$\min\bar{\Phi}(\bar{C}) = \min\sum_{k=1}^{N} W_k(H)[I_k^{\text{обр}}(H) - I_k^{\text{мод}}(H)]^2,$$

е $W(H)$ — весовая функция, определяющая начимость линий спектра в конкретных диа зонах; k — номер линии спектра.

Линии эталона и образца $H^{\text{эт}} \in [H^{\text{обр}} - \Delta H, {}^{\text{обр}} + \Delta H]$ сопоставляются в интервале уров я (окна) ошибок ΔH, задаваемого исследо телем. Окно ошибок зависит от качества спериментальных данных для спектров об зца и эталонов. Значения $\Delta H = 1, 2, 3$ т. д. соответствуют ошибкам определения ложения дифракционных пиков $2\Delta\theta = 3, 6,$ мин и т. д. на шкале углов 2θ.

Математическая модель, используемая в си еме ФАЗАН, не учитывает изменение ди ракционной картины, обусловленное фазами еменного состава и текстурированностью. едует отметить, что влияние обеих этих ичин на идентификацию фаз до сих пор не ено теоретически. Целью работы являлось яснение границ применимости системы АЗАН для идентификации фаз минерально происхождения, содержащих, как правило, льшое количество изоморфных серий.

Объектами для изучения фазового состава были образцы бокситов и вмещающих их пород из различных зон выветривания Верхнешугорского месторождения, в подавляющем большинстве которых содержались минералы группы алюмосиликатов. Рентгенограммы образцов снимались на типовом дифрактометре ДРОН-3. Наряду с машинной диагностикой применялся стандартный «ручной» способ определения фазового состава. С целью повышения достоверности и контроля получаемых результатов фазовый состав оценивался также по данным комплекса других методов — ИКС, ЯМР, микрорентгеноспектрального, химического и спектрального анализов. В ряде случаев выявлялась направленность изменения фазового состава в результате химической обработки. Результаты проведенных экспериментов представлены в табл. 1 и 2.

Машинная диагностика минералов группы алюмосиликатов включала три независимых варианта: 1) по полной библиотеке эталонных спектров, содержащей более 2000 минералов; 2) по частным библиотекам, отобранным исследователем с учетом парагенетических ассоциаций минералов (для каждого из 25 изученных образцов составлена индивидуальная библиотека, насчитывающая от 10 до 70 минералов); 3) по полной библиотеке с учетом элементного состава (использовались данные рентгеноспектрального анализа).

Как следует из анализа полученных результатов, метод автоматической диагностики природных соединений эффективен в отношении:

— экспрессности (время анализа одного дифракционного спектра на ЭВМ ~ 1 мин);

— сопоставления спектра образца с эталонами по полному банку минералов, что уменьшает вероятность пропуска истинной фазы в окончательном ответе;

— диагностики фаз изоморфных серий с указанием членов соответствующих рядов;

— полуколичественного определения содержания фазы в смеси.

Метод позволяет проводить корреляцию пород по основным образующим ее минералам; выделять основные генетические ассоциации минералов.

Эти выводы сделаны на основании изучения метаморфизованных (полевошпат-доломитовых, филлитов и карбонато-сланцевых), а также глинистых, осадочных пород разного состава и бокситов.

Исследования образцов указанных пород дали достаточно хорошие результаты. В полевошпатовых породах выделены две группы минералов — калиевые полевые шпаты (КПШ) и плагиоклазы. Среди КПШ установлены микроклин, анортоклаз и санидин. Из группы плагиоклазов выявлены альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор и битовнит. В качестве примера в табл. 1 приведено сопоставление результатов трех методов анализа: ИКС, «ручной» рентгенофазовый анализ и машинная диагностика. Машинная диагностика позволяет конкретизировать фазовый состав породы путем выделения из изоморфных серий минералов отдельных ее членов. В хлористо-слюдистых сланцах устанавливаются слюды (мусковит, флогопит, лепидолит). Не все из перечисленных минералов являются породообразующими, но присутствие многих из них кор-

Таблица

Результаты различных методов диагностики пород

Номер образца	ИКС	РФА, ручной способ		РФА, диагностика ЭВМ	
		Минерал	Содержание, %	Минерал	Содержан %
А-1	Бёмит Диаспор Каолинит Гематит Гётит Шамозит	Бёмит Диаспор Каолинит Гематит Гётит Шамозит Рутил	60 Следы 10 11 7 — —	Бёмит Рутил Анатаз Гётит Шамозит Гематит Каолинит	83 2 3 6 2 2 2
А-2	Бёмит Диаспор (следы) Гематит Шамозит Каолинит (следы)	Бёмит Гематит Рутил Каолинит	46 37 — —	Бёмит Гематит Рутил Фурмарьерит	56 18 4 3
А-3	Каолинит Гематит Мусковит Гётит Калиевый полевой шпат	Мусковит Каолинит Гематит Калиевый полевой шпат	35 40 14 4	Мусковит Флогопит Каолинит Гематит Браунит Санидин	50 14 13 11 5 7
Б-1	Мусковит Каолинит Гематит Силикат	Мусковит Каолинит Хлорит Гематит Анатаз	63 17 — 13 Следы	Мусковит Анандит Шоепит Гематит Флогопит Фурмарьерит Лепидолит Анатаз Каолинит	37 12 5 16 15 3 <1 <1 10
Б-2	Мусковит Каолинит Гематит	Мусковит Каолинит Хлорит Гематит	60 19 — 14	Мусковит Флогопит Гематит Каолинит Пирохлор Ильменорутил Колумбит	30 26 8 13 11 2 9
В-1	Бёмит Диаспор Каолинит Шамозит (следы) Рутил	Бёмит Рутил	80 —	Бёмит Рутил Ильменорутил Торианит	95 4 <1 0,
В-2	Бёмит Каолинит Диаспор (следы)	Бёмит Рутил Каолинит-шамозит	— —	Бёмит Рутил Торианит Фурмарьерит	92 6 0 <1

Таблица 2

томатизированная диагностика пород при моделировании процессов образования кситов (выветривание и выщелачивание)

Исходный образец		После обработки в кислоте		После обработки в щелочи	
Минерал	Содержание, %	Минерал	Содержание, %	Минерал	Содержание, %
оломит	6	Альбит	34	Анкерит	50
нкерит	57	Микроклин	16	Микроклин	2
льбит	3	Анортоклаз	38	Альбит	4,3
анидин	0,3	Циркон	3	Анортоклаз	25
утногорит	15	Рутил	0,5	Пирохлор	16
нортоклаз	7	Кварц	8,4	Кварц	3
нкроклин	6				
итовнит	0,8				
лигоклаз	5				

ирует с данными спектрального анализа. овторяемость минералов по разрезам позво- ет проследить горизонты однотипных пород выявить индивидуальные особенности их ми- рального состава.

Почти во всех исследованных образцах об- ружены в малом количестве акцессорные нералы, такие, как рутил, анатаз, ильмено- тил, колумбит. Присутствие этих минера- в подтверждается данными спектрального лиза. Например, определенные содержания тила (обр. А 5,05 %, обр. Б — 4,75 %) в бок- тах хорошо согласуются с данными химиче- ого анализа (обр. А 4 %, обр. Б 3,5 %).

Хорошая сходимость результатов химическо- анализа и рассматриваемого метода позво- ет подойти к вопросу выявления на основе ЭВМ малых, хорошо раскристаллизованных и тойчивых минералов и установлению их по- тов обнаружения. Наличие микроколичеств дких и рассеянных минералов в ответе андендрисшеит, фурмарьерит, торианит др.) нельзя рассматривать как полностью стоверный факт. Необходимо провести до- лнительные исследования вещественного со- ава, а затем, учитывая их результаты, при- нять метод автоматизированной диагности-

Изучение бокситов и вмещающих их пород казало, что основным источником ошибок и автоматизированной диагностике минера- в является ручная предварительная обра- тка рентгенограмм. При этом не обеспечива- ся требуемая точность определения в исход- й для ЭВМ информации: уменьшая окно ибок до ΔH, равного 2 или 1, можно по- рять истинные для образца фазы; увеличи- я его до $\Delta H=3$, можно сохранить все ис- нные фазы в списке вероятных, но в окон- тельном ответе появится большое количест- ложных фаз, содержание которых в иссле- емом образце сомнительно. На данном эта- значительно сократить список ложных фаз зволяет элементная отбраковка или работа частными библиотеками. Однако при уров- ошибок $\Delta H=3$ такой способ не дает су- ственного сокращения ложных фаз при лизе данных пород, содержащих большое личество членов изоморфных рядов (калие- х полевых шпатов или плагиоклазов).

Диагностические ошибки связаны с ручной обработкой рентгенограммы и обусловлены влиянием фоновой составляющей спектра, аппаратной функции, неустойчивой работой электроники и возможным наличием аморфных соединений. Перечисленные факторы искажают дифракционную картину и приводят к тому, что межплоскостные расстояния (или углы рассеяния) измеряются с большой случайной и систематической ошибками. Для успешного преодоления причин возникновения упомянутых неточностей (диагностических ошибок) необходимы применение автоматического съема информации с дифрактометра на машинный носитель (магнитная лента, диск) и затем обработка экспериментального спектра на ЭВМ с целью получения для каждой линии спектра ошибки углового положения линии не более 3 мин на шкале 2θ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алгоритмизация* процесса обработки данных рентгеновского фазового анализа/ Е. М. Бурова, Н. П. Жидков, В. В. Зубенко и др. — Докл. АН СССР, 1977, т. 232, № 5, с. 927.
2. *Консон Е. Д., Нахмансон М. С., Степанова Н. В.* Система качественного рентгенофазового анализа на основе алгоритмов линейного программирования. — В кн.: Аппаратура и методы рентгеновского анализа. Л., 1983, с. 54—61.
3. *Burova E. M., Zubenko V. V., Vmansky M. M., Schedrin B. M.* The automated system of identification of multiphase mixtures from *X*-ray diffraction spectra. Collection abstracts International Congress of Crystallography. Warszawa, Poland, 1978.
4. *Johnson G. G. (Jr.), Vand V.* Computerized multiphaze *X*-ray powder diffraction identification system. — Adv. *X*-ray Anal., 1968, N 11, p. 376—384.
5. *Frevel L. K.* Computational aids for identifying crystalline phases by powder diffraction. — Analytical Chemistry, 1965, vol. 37, N 4, p. 471—482.
6. *Fiala J.* Prăškove difraktični identifikacni systémy a jejich automatizace samočinnimi počitači. — Československy časopis pro fyziku (sekce A), 1974, N 24, S. 237—245.

ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ

УДК 553.98 : 553.061.12/.17

Н. А. КАЛИНИН (ВНИИзарубежгеология)

К вопросу о происхождении нефти и газа

Осадочно-миграционная теория нефтегазообразования, в основе которой лежат представления о генерации и аккумуляции углеводородов из рассеянных органических веществ (ОВ), разделяется подавляющим большинством геологов-нефтяников. Стройность ее теоретических положений подкупает. Действительно:

— валовая оценка генерационных способностей рассеянных ОВ увязывается с современными представлениями о глобальных ресурсах нефти и газа;

— дифференциация скоплений УВ по их фазовому состоянию (преимущественно нефти и газа) находит объяснение в разнообразии исходных ОВ и степени их катагенетического преобразования;

— данные геохимического изучения ОВ в сочетании с результатами анализа изотопного состава углерода, входящего в состав нефти и газа, а также данные об оптической активности нефтей, наличии в их составе биомолекул или их фрагментов, углеводородов биогенного происхождения (нормальных алканов, изопреноидных, тритерпановых, стерановых и др.), в том числе порфиринов, свойственных живым организмам и являющихся производными от хлорофилла и гемоглобина, служат доказательством биогенного происхождения нефти и газа;

— палеотектонические реконструкции, включая оценки динамики термобарических условий, а также средние статистические глобальные данные, характеризующие дифференцированное глубинное расположение разведанных запасов углеводородов различного фазового состояния (нефть, газ с конденсатом, газ), широко используются для выделения так называемых главных зон (фаз) нефтегазообразования, а также качественных и количественных прогнозов областей генерации различных углеводородов и районирования НГБ по перспективам их нефтегазоносности.

И тем не менее, нет уверенност том, что это безупречный и единств но возможный вариант теории неф газообразования, поскольку за вн ней стройностью и дидактической работанностью проступают трудно научного обоснования ее фундам тальных положений. Трудности на наются с недостаточной надежно обоснования генетической связи лоссальных мировых скоплений не и газа с рассеянной органикой (нимаемой за достаточный и доступ первоисточник биомассы) и допо ются сомнительными оценками м низма и масштабов миграции так зываемой «микронефти».

По этому поводу уже опублико ряд критических замечаний [4 и др.] и со временем их станов больше. Имеются основания еще обратить внимание на следующее.

1. Нет сомнений в том, что из сеянных ОВ можно получить угл дороды, особенно из таких компле пород, как баженовская свита За ной Сибири, доманиковая толща го-Уральской области и др. Од существо вопроса заключается в гом — являются ли они первоисто ком промышленных скоплений не и газа? В валовом выражении кронефти» в литосфере много, так как, например, много золота в М вом океане, но ее рассеянное со ние скорее может привести к обес нию кларкового содержания УВ, жели к формированию колоссаль скоплений нефти и газа — место дений-гигантов и целых нефтегазо ных бассейнов (Персидский зал целом с геологическими запас 0,35—0,40 трлн. т, месторождения вар — более 30 млрд. т, Большой ган — около 30 млрд. т). Коэффи ты эмиграции «микронефти», соот ствующие лабораторным условия волевым путем перенесенные в н поставимые условия обширных с ментационных бассейнов, а также

ительные представления о диффе нциальном улавливании УВ и дру х формах дальней миграции, по еньшей мере, нуждаются в доизуче и, тем более что беспрепятственная льняя миграция «микронефти» не гласуется с известными теоретиче ими и экспериментальными разра тками в области теории извлечения люидов из пористых сред. Так, В. Дерягин, М. М. Кусаков [3], Ф. Линецкий [4] и ряд других ис едователей показали, что силы вза одействия флюидов с пористой сре й весьма существенны и по этой ичине далеко не все они подвижны. тому же, по заключению геохимиков гидрогеологов, пластовые воды неф азоносных бассейнов в подавляю ем большинстве случаев относятся к оркальциевому типу, который ха ктеризует застойный режим. Ш. Ф. ехтиев [6] справедливо замечает, о не только микронефть, но даже фть и газ, сформировавшиеся в за жи, с большим трудом поддаются влечению из недр. Средний коэффи ент извлечения нефти не превышает —40 %, газа 60—70 %, в недрах ос ется порядка 60—70 % нефти и 30— % газа. А где уж «микронефти» — линкам УВ — добраться до лову ек!

Что касается первичной миграции микронефти» преимущественно из нистых нефтематеринских толщ, то оретически и экспериментально до зано — начальная иловая вода уда ется из рыхлых осадков в основном начальной стадии литогенеза, когда держащиеся в них ОВ не успевают е претерпеть катагенетические пре разования, достаточные для начала нерации углеводородов. Следова льно, условия миграции УВ в период ксимального обезвоживания осад в являются неблагоприятными.

2. Совершенно не обязательно при мать средние глобальные статисти ские данные о сосредоточении скоп ний нефти на глубинах до 3— тыс. м за подтверждение справед вости теоретических выводов о ве цей роли термобарических условий, обы предопределяющих генерацию дких углеводородов (главная фаза зона нефтеобразования) преиму ственно на этих глубинах. С таким же успехом максимальные скопления нефти на этих глубинах можно объяснить средней глобальной мощностью осадочного покрова нефтегазоносных провинций, составляющей 3—3,5 тыс. м. (Персидский залив, Западная Сибирь, Волго-Уральская провинции и др., где лишь сравнительно узкие области передовых прогибов имеют большие мощности осадков; исключением являются Прикаспийская впадина, Мексиканский залив и некоторые другие). Термобарические условия несомненно оказывают воздействие на ОВ или сложившиеся залежи, но остается открытым вопрос о том, какую роль они выполняют — созидательную (обеспечивают генерацию нефти и газа) или разрушительную (приводят к деструкции углеводородов, сформировавшихся и погрузившихся на значительную глубину).

Приведенных критических замечаний, пожалуй, достаточно для обоснования правомерности поиска других объяснений происхождения нефти и газа.

В связи с этим нельзя не обратить внимание на то, что до настоящего времени умаляется роль простейших микроорганизмов как огромной биомассы (белков, жиров, углеводов и др.), способной обеспечить генерацию нефти и газа без дальнейшей миграции. Ее количество находится в зависимости от наличия питательной среды (главным образом, углекислоты), поступающей по глубинным разломам и сопутствующим им зонам дробления. Исследователи-биологи (И. И. Мечников, Н. Д. Иерусалимский, А. Г. Вологдин и многие другие) подчеркивают, что потенциальные возможности микробиологического синтеза живого вещества колоссальны. При этом сформулирован закон, согласно которому энергия роста и размножения живых существ и образуемая ими масса живого вещества обратно пропорциональны размерам этих организмов. Чем организм меньше, тем быстрее он развивается и размножается, тем больше создаваемая им за единицу времени масса живого вещества.

Поворот исследователей в сторону микромира отчетливо наметился. Например, характерны выводы Всесоюз-

ного совещания по проблеме «Биоседиментация в морях и океанах» (Москва, 1983 г.), на котором отмечалось, что широко распространенная концепция «мертвого океана», где осадкообразование и осадочная геохимия регулируются законами механической и химической дифференциации, должна быть заменена концепцией «живого океана», где основные процессы определяются биологической структурой океана (широтная, вертикальная и циркумконтинентальная зональность) и теснейшим образом связаны с условиями среды [5]. Эти положения приложимы не только к океанам, но и к литосфере в целом.

Особенно непростительно предание забвению научных разработок в этой области, выполненных академиком В. И. Вернадским [2], уделившим особое внимание биосфере (мощностью до 20 км), раскрытию важнейшей роли в ней живого вещества. Он пишет: «Живые организмы с геохимической точки зрения не являются случайным фактом в химической организации земной коры; они образуют ее наиболее существенную часть» (с. 38). С целью раскрытия генерационной способности простейших организмов В. И. Вернадский ссылается на расчеты своих современников:

— «Эренберг доказал, что одна диатомея, разделяясь на части, может, если не встретит к тому препятствий, в 8 дней дать массу материи, равную объему нашей планеты, а в течение следующего часа может удвоить эту массу»;

«Мелкая обычная инфузория (туфелька — Paramoecium) может в течение пяти лет дать массу протоплазмы, объем которой был бы в 104 раза больше объема Земли;

— Согласно Ф. Кону, бактерия может в течение четырех с половиной суток дать потомство в 10^{36} индивидуумов, которое способно было бы заполнить океан и вес которых очевидно превысит вес последнего... Это значит, что в трое суток живая пылинка сложнейшего химического состава весом в несколько триллионных или сотнебиллионных грамма (10^{-11} до 10^{-10}), дает массу все растущего вещества того же сложнейшего состава, весом больше $1{,}4 \times 10^{17}$ т, т. е. в несколько тысяч раз превосходящим вес всех организм находящихся в каждый данный мент в биосфере» (с. 177);

— «Размножение (воспроизводст живых существ, интересующее био гов с физиологической точки зрен есть по-существу явление геохими ское, так как оно имеет огромное в яние на количество живого вещест существующего в биосфере, и упр ляет всем жизненным циклом хими ских элементов» (с. 176);

— «...все бытие земной коры, крайней мере 99 % по весу массы вещества, в своих существенных с химической точки зрения, чертах об ловлено жизнью» (с. 191), хотя « масса живого вещества едва ли мн превышает 0,1 % земной коры, т. 2×10^{16} т.» (с. 181).

Приводя эти расчеты, В. И. Верн ский учитывал, что этот колоссаль генерационный потенциал, как пра ло, не реализуется, поскольку жи вещество находится в жизненном ц ле биосферы, и степень его колич венного развития контролируется п жде всего содержанием свободной лекислоты (CO_2), из которой жи организмы ассимилируют углерод. подчеркивает, что живое вещество ходится в динамическом равновес количеством свободной углекислот атмосфере, гидросфере, земной кор

По оценке В. И. Вернадского, ко чество свободной углекислоты и, ответственно, живого вещества в к дый момент геологического врем колебалось в сравнительно небольш пределах. Тем не менее, он не иск чал того, что жизненный цикл не в да был замкнутым; с его неполной ратимостью связаны скопления генных известняков, каменных угл других каустобиолитов. Из этого дует, что не исключаются в тех иных местах в определенные отре времени «волны или взрывы», ха теризующиеся массовым накоплен живого вещества — белков, жиров, леводов и т. д. Все это может им прямое отношение к накоплению ходного материала для образова нефти и газа.

Раскрытию роли микроорганиз (аэробных и анаэробных) посвящ обширная литература. Широко изв ны научные разработки в этой обла Л. Гинзбург-Карагичевой и ряда ругих исследователей. Однако спе алисты-нефтяники больше придава значения разрушительной роли ми оорганизмов, чем созидательной; не олько биомассе самих простейших ганизмов, сколько продуктам их изнедеятельности.

В настоящее время предполага ся (Г. А. Заварзин, 1974 г.; Р. Т. Ур, 1974 г.; К. Р. Вуз, 1977—1981 гг. др.), что микроорганизмы появились земной коре 2—3,5 млрд. лет тому азад, а возможно, и раньше (начиная архебактерий до эубактерий — обыч ых бактерий). Среди них имеются ме филы и термофилы, в том числе ме нообразующие микробы и водоросли Boterocontae), продуцирующие тяже ые углеводороды до C_{29}—C_{31} и более Е. Казадеваль, 1983 г., Франция; Шидловски, 1984 г., ФРГ и др.).

Несмотря на наличие микробов и дорослей, продуцирующих УВ, по идимому, будет наиболее правильным итывать главным образом биомассу мих микроорганизмов, а уже вместе ними и продукты их жизнедеятельно и.

Предлагаемая концепция нефтегазо образования за счет биомассы микро ганизмов может быть названа по новному компоненту концепцией микробиологического генезиса нефти газа», хотя в этом явлении участву т и другие факторы: питательная реда (глубинные газы, вмещающие роды, вода), термобарические, гео руктурные и др.

Процесс нефтегазообразования схе атически представляется в следую ем виде: известная периодическая ктивизация глубинных разломов вме е с сопутствующими им зонами робления земной коры (сбросового арактера) сопровождалась инъекци глубинных газов (CO_2, CO, CH_4, $_2S$, NH_3 и др.) в толщи осадочных ород. Путями проникновения этих зов в осадочные породы являлись азрывные нарушения, трещины, про цаемые толщи и т. д. Проникшие зы, а также сами вмещающие поро ы и вода составляли обильную пита льную среду, т. е. основные условия я бурного развития анаэробных ми оорганизмов. Поскольку активиза ия глубинных разломов сменялась длительными периодами спокойствия (смыканием и герметизацией разломов), питательная среда в это время не пополнялась, происходил заключительный этап захоронения биомассы (подобно захоронению пышно расцветавшей растительности в каменноугольном и других периодах при углеобразовании). Первичная биомасса под действием, главным образом, температуры и давления со временем превращалась в нефть и газ. Такие циклы повторялись многократно. С позиций предлагаемой концепции нефтегазообразования цикличность (или стадийность) является непременным условием накопления биомассы и ее последующего преобразования в нефть и газ.

Имеющиеся научные разработки в области катагенетического преобразования исходного органического вещества и миграции УВ в определенных пределах могут найти применение и при разработке данной концепции. Однако необходимы дополнительные исследования. Из них первоочередными можно считать следующие:

1) изучение возможных путей проникновения глубинных газов и зон их накопления в толщах осадочных пород;

2) изучение условий и динамики развития анаэробных бактерий, накопления их биомассы в связи с проблемами геологии нефти и газа;

3) установление возможной взаимосвязи между размещением нефтегазоносных бассейнов и зон нефтегазонакопления с системами глубинных разломов и сопутствующими им зонами дробления земной коры;

4) проверка возможной связи периодичности нефтегазонакопления с периодичностью активизации различно ориентированных разломов;

5) раскрытие практического значения новой концепции нефтегазообразования, ее влияния на выбор направлений геологоразведочных работ и методик оценки природных ресурсов нефти и газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вассоевич Н. Б.* Современные представления об условиях образования нефти. М., Знание, 1981.
2. *Вернадский В. И.* Очерки геохимии. Изд. 4-е. Л., ГОНТИ НКТП СССР, 1934.

3. *Дерягин Б. В., Кусаков М. М.* Экспериментальное исследование сольватации поверхностей в применении к построению математической теории устойчивости лиофильных коллоидов (аномальные свойства). — Изв. АН СССР. Сер. хим., 1937, № 5, с. 1119—1149.
4. *Линецкий В. Ф.* Физическая сторона процессов ранних стадий миграции нефти. — В кн.: Вопросы теории происхождения и миграции нефти. Киев, Изд-во АН УССР, 1956, с. 103—117.
5. *Лисицын А. П.* Биодифференциация вещ ва в океане. — В кн.: Биоседиментация в рях и океанах. Тезисы докл. Всесоюз. с щания. М., изд. Ин-та океанологии СССР, 1983, с. 62—64.
6. *Мехтиев Ш. Ф.* О некоторых принципи ных вопросах генезиса нефти. — Изв. АзССР. Серия наук о Земле, 1982, № с. 72—86.

УДК 553.94 : 553.061.12/.17

В. Н. НЕСТЕРОВ (ВУХИН)

О причинах образования восстановленных углей

До настоящего времени не выяснены причины образования восстановленных углей и процессы, обусловившие появление в углях свойства спекаемости. Данные вопросы имеют самое непосредственное отношение к практической оценке качества и технологических свойств коксующихся углей.

Термин и понятие «восстановленные угли», «степень восстановленности», обозначающие аномалии в показателях свойств углей, широко распространены в геологической и петрографической литературе, издаваемой в СССР (за рубежом эти термины не применяют).

Из многочисленных работ следует, что восстановленность углей определяется комплексом показателей, при этом наиболее чувствительным из них является толщина пластического слоя, определяемая в аппарате Л. М. Сапожникова. Чем выше ее значение при данном вещественном составе и степени метаморфизма, тем более восстановленным считается уголь. Признавая спекаемость углей мерой их восстановленности, нужно согласиться и с тем, что наиболее восстановленные угли приурочены, очевидно, к середине метаморфического ряда, где толщина пластического слоя достигает, как известно, максимума. Здесь же отмечается максимальный разрыв по спекаемости между наиболее и наименее восстановленными углями. Это обстоятельство значительно усложняет понимание сущности явления восстановленности каменных углей.

Понятие «восстановленный уголь» введено В. В. Видавским и Е. А. Прокопцом, которые, изучая раство мость донецких углей в нафтали установили, что сближенные угольн пласты, разделенные 2—5-метров прослоем породы, существенно раз чаются по выходу нафталинового стракта [1]. В. В. Видавский объ нял это различие неодинаковой п должительностью процессов окис ния при накоплении угольных пласт С увеличением степени окисленно как полагал В. В. Видавский, содер ние битумов уменьшается, вследст чего снижается спекаемость угл В более поздней работе [2], учитыв очевидно, успехи углепетрографи ских исследований исходного веще ва углей, он заменил термин «степ окисленности» термином «степень в становленности», сохранившимся наших дней.

Согласно современным представ ниям, битумы (углеводороды), об ловившие аномальные свойства из метаморфных углей, или вносятся р тениями-углеообразователями [4], синтезируются в угольном пласте счет внутренних [5, 6] и внешних источников водорода. Не оспаривая эти представления, можно предпо жить, что причины возникновения становленных углей могут быть ин а именно: привнос углеводородов угольный пласт извне на каких-то пах второй стадии углеобразовате ного процесса. Поскольку угли хар теризуются высокой сорбционной собностью, а метаморфические пре разования протекают при наличии лового фона, представляется веро ной частичная или даже полная ас

Таблица 1

менение свойств углей при искусственной углефикации *

Характеристика угля	Конечная температура опыта, °С	Показатели, %							Истинная плотность органической массы угля, г/см³	R^O, %
		A^d	V^{daf}	C^O_O	H^O_O	N^O_O	S^O_O	O^O		
итринит из пласта лавный» Майкюбенско- месторождения:	—	10,3	46,2	73,04	4,64	1,57	0,51	20,28	1,561	0,48
с добавкой **	250	9,8	52,5	77,49	5,33	0,84	0,28	16,06	1,451	0,66
„	270	9,8	54,5	80,87	5,37	0,61	0,47	12,68	1,478	0,71
без добавки	270	11,0	44,7	72,97	4,60	1,19	0,62	20,62	1,566	0,75
итринит из пласта «Ба- ринский» Челябинского ссейна:	—	5,9	40,2	78,85	5,31	2,35	0,89	12,60	1,405	0,60
с добавкой	250	5,7	45,9	80,19	5,19	1,78	0,79	12,40	1,385	0,70
„	270	5,7	45,6	81,29	5,05	1,78	0,76	11,12	1,376	0,78
без добавки	270	6,8	37,7	77,92	5,03	1,61	0,80	14,64	1,424	0,79
итринит пласта II, шх. уланаш-3 Буланашско- месторождения:	—	12,4	36,3	81,26	5,17	1,66	0,87	11,04	1,445	0,83
с добавкой	250	11,6	42,7	83,02	5,36	1,18	0,44	10,09	1,432	0,81
„	270	11,2	44,4	83,14	5,19	0,88	0,50	10,29	1,401	0,83
без добавки	270	13,7	33,7	81,50	5,08	1,25	0,81	11,34	1,454	0,83

* Искусственная углефикация проводилась в специальных автоклавах.
** Во всех случаях добавляли 8 г фенантрена к навеске угля в 15 г.

ляция сорбированных углеводоро- в, в результате чего угли приобре- ют необычные свойства. Это сообра- ение основано как на эксперимен- льных данных, так и на материалах ологических наблюдений.

Анализ полученных нами экспери- ентальных данных по оценке воздей- твия на уголь умеренных температур казывает, что собственно тепловое оздействие приводит, как это видно табл. 1, к снижению выхода лету- их веществ, возрастанию плотности рганической массы по сравнению с ходным углем, а также к заметному величению содержания золы в ос- тке угля, что явно свидетельствует разложении органического вещества. днако при этом, очевидно, не проис- одит глубоких преобразований орга- ического вещества, поскольку эле- ентный состав витринитов до и после ыта идентичен.

Напротив, тепловое воздействие в сочетании с имитированной сорбцией глеводорода (фенантрен) вызывает ущественное изменение в элементном составе остатков витринита: увеличи- ается содержание углерода и снижа- ется — кислорода. При этом элемент- ный состав остатка витринитов различных углей изменяется по-разному. Важнейшее изменение витринитов с добавлением углеводорода сводится к некоторому разуплотнению их органической массы.

Аналогичные изменения протекают, как известно, с углями естественного метаморфического ряда: на общем фоне обуглероживания (до жирной стадии включительно) происходит закономерное уменьшение плотности органического вещества угля. Этот факт, по нашему мнению, следует увязывать с результатом взаимодействия пласта и вмещающей толщи — сорбцией и ассимиляцией углеводородов.

Возможность ассимиляции углеводородов угольными пластами в природных условиях явление, по-видимому, довольно распространенное, что подтверждается наблюдениями. На месторождении Фан-Ягноб (Таджикская ССР), где сильно развиты эндогенные пожары угольных пластов, вблизи зон выгорания возгоны углеводородов термического разложения угля оказывают влияние на органическое вещество

Таблиц

Показатели	Кровля пласта	Средняя часть	Подош пласт
Мощность слоя, м	0,15	0,20	0,3
Зольность обогащенного угля A^d, %	7,5	7,9	6,7
Выход летучих веществ V^{daf}, %	43,7	36,8	30,
Содержание водорода в органической массе, %	5,91	5,56	5,1
Показатель отражения R^0, %	0,74	0,82	0,8
Истинная плотность угля d, г/см³	1,338	1,362	1,3
Число вспучивания, по ВУХИН, мм	95	32	3

соседних пластов. Особенности этих изменений отчетливо видны на примере пласта 12ª, расположенного в 18—20 м выше зоны древнего пожара (табл. 2).

Обращает внимание то, что наряду с понижением плотности органической массы угля в верхней части пласта отмечается увеличение выхода летучих веществ и возрастание водорода в органическом веществе угля. Эти аномалии не связаны с обогащением угля липоидными компонентами. Под микроскопом было установлено, что в аншлифах из угля верхней пачки витринит обнаруживает картину своеобразной комковатости за счет темных расплывчатых оторочек и пятен с размытыми краями. Поэтому показатель отражения витринита верхней пачки пласта 12ª крайне низкий (R^0 = =0,74 %). Витринит средней и особенно нижней частей пласта представляется более однородным по окраске и как бы более метаморфизованным.

Таким образом, в данном случае комплекс признаков петрографического и физико-химического характера подтверждает реальность возникновения особых свойств углей тогда, когда имеет место интенсивная аккумуляция углеводородов в результате термической перегонки и их последующая хемосорбция органическим веществом угля. Как следствие этого в угле верхней части пласта возникает аномально высокий уровень спекаемости по числу вспучивания.

В Карагандинском бассейне также установлены случаи насыщения угольных пластов мазеподобным битумом. Большинство находок битуминозной массы в основном приурочено к тектонически сложным участкам бассейна, с развитой сетью дизъюнктивных нарушений. Мазеподобный битум об руживали преимущественно при ходке пластов и извлекали из сква ны вместе с угольным керном. В р скважин (скв. 645, 646, 1322), п денных на северо-восточной окра Тентекской мульды, некоторые пла угля отсутствовали, а на их мест разрезе встречали значительные 0,5 м) прослои мазеподобного бит черного цвета [3].

Хлороформенные экстракты м подобных битумов Карагандинск бассейна близки между собой по ментному составу и ИК-спектрам, свидетельствует в пользу одновре ной их генерации, а сонахождение тумов и угля в виде механичес смеси — о недавнем проникновении тума в угленосную толщу.

Наблюдаемые факты нахожде битумов указывают, следовательно возможность поступления углевод дов и сорбции их углем. Очеви если бы инъекции углеводородов исходили в период погружения у носной толщи в зону повышенных т ператур, то они оказали бы, по-ви мому, такое же воздействие на сво ва угля, в частности на спекаемо как и возгоны углеводородов при модеструкции на угольный пласт вб зи очага пожара.

Итак, формирование восстанов ных углей нами увязывается с об щением их углеводородами в резул те привноса последних извне. Те вая активация сорбированных уг углеводородов, которые, вероятно, дует рассматривать в качестве доно атомарного водорода, приводит к боким изменениям природы уг включая появление свойства спе мости. Согласно выдвигаемой гип зе, высокая спекаемость углей, хар

ная для середины метаморфическо ряда, связана с ассимиляцией сор рованных углеводородов при опти льных условиях. Различие по вели не спекаемости изометаморфных уг й обусловлено, по-видимому, неоди ковым сродством разновидностей ходного материала углей и привне ных углеводородов.

Исходя из представления о роли внесенных углеводородов при фор ровании спекающихся (более вос новленных) углей, можно выска ть предположение о том, что прост ственная разобщенность место ждений нефти и спекающихся углей условлена сорбцией и ассимиляцией следними значительной части неф ного флюида. В связи с этим райо развития угленосных отложений со екающимися углями даже при край благоприятных литолого-структур х и тектонических условиях практи ски бесперспективны для открытия омышленных месторождений нефти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Видавский В. В., Прокопец Е. А.* Изучение коксующей способности методом нафталинового экстрагирования. — В сб. работ по химии угля 1929—1931 гг. Харьков, ОНТВУ, 1932, с. 38—72.
2. *Геолого-химическая* карта Донецкого бассейна. Вып. V. Киев, Укргостоптехиздат, 1941, с. 48—68.
3. *Голицын М. В., Козлова Л. Е., Кузнецова А. А.* Метаморфизм каустобиолитов Карагандинского бассейна. М., Наука, 1970.
4. *Иносова К. И.* Петрографическая характеристика углей. — В кн.: Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 1. Угольные бассейны и месторождения юга европейской части СССР. М., Госгеолтехиздат, 1963, с. 49—70.
5. *Лапин А. А.* О превращениях гумусовых углей при метаморфизме. — Химия твердого топлива, 1976, № 3, с. 34—42.
6. *Лапин А. А.* Восстановленность гумусовых углей. — Химия твердого топлива, 1977, № 2, с. 46—52.
7. *Нестеров В. Н.* Газовый фактор углефикации. — В кн.: Труды VIII Междунар. конгр. по геол. и стратигр. Т. 5. М., Наука, 1978, с. 148—152.

РУДНОЕ И НЕРУДНОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

К 553.493.064.3 : 552.331.1

В. АРХАНГЕЛЬСКАЯ (ВИМС)

дкометальные месторождения в щелочных метасоматитах

е сравнительно давно в различных онах мира обнаружены и изучены плексные редкометальные (танталбий-циркониевые с касситеритом) торождения *, приуроченные к мас ам щелочных и субщелочных рибеовых гранитоидов, такие, как ос-Букуру, Ша-Калери в Африке р. Они представляют собой грани ды апикальных участков таких сивов, в той или иной степени ме оматически переработанные и пре щенные в альбититы, которые ха теризуются повышенным по сравню с гранитоидами массива содер нием редкометальных минералов и имеют одинаковый с ними абсолютный возраст.

Руды месторождений тонковкрапленные. Рудные минералы — колумбит, в меньшей степени пирохлор, циркон, (малакон) и не всегда касситерит, темноцветные — сегрегационно перекристаллизованный рибекит, лепидомелан. Кроме лепидомелана, из слюд присутствуют также протолитионит, полилитионит, циннвальдит. Содержание Ta_2O_5 в рудах месторождения Джос-Букуру составляет 0,01—0,02 %, Nb_2O_5 0,1—0,3 %, отношение Ta : Nb колеблется от 1 : 5 до 1 : 15, в среднем 1 : 8. В гранитах массивов тоже наблюдается тонкая вкрапленность циркона и тантало-ниобатов, главным образом пирохлора, но концентрация этих минералов в них убогая, низ-

* Ниже термином «редкометальные» имену я только тантал-ниобий-циркониевые мес ждения.

ки содержания Ta_2O_5 (0,00 *n*, %) и Nb_2O_5 (0,0 *n*, %), а отношение Ta : Nb изменяется от 1 : 14 до 1 : 20.

В надинтрузивных зонах массивов обычно распространены грейзены и кварцевые жилы с топазом, касситеритом, вольфрамитом, акцессорной сульфидной и бериллиевой (берилл, фенакит, бертрандит) минерализацией. Хотя вопросы об источнике рудного вещества и характере метасоматических процессов (автометасоматоз, переработка гранитов сквозьмагматическими флюидами и др.) до сих пор остаются дискуссионными, гранитный состав субстрата, по которому такие метасоматиты развиваются, ни у одного исследователя сомнений не вызывает.

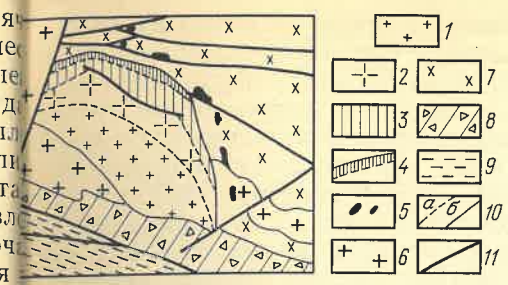
Таким образом, редкометальные месторождения данного типа по составу субстрата руд несомненно магматогенные. Ниже они называются щелочными магматогенными метасоматитами, поскольку «апограниты» — термин более широкий, включающий наряду со щелочными щелочноземельные породы с иной, чем в щелочных, акцессорной и рудной минерализацией. Да и предложен он был впервые именно для вторых [2].

За последние годы в СССР обнаружены и изучены редкометальные месторождения, подобные вышеуказанным по тонковкрапленному характеру руд, тоже представленные щелочными метасоматитами, и сходные по минеральному составу, геохимическим особенностям со щелочными гранитами, которые служат субстратом для руд месторождений первого типа. Пространственно и генетически эти метасоматиты не связаны с какими-либо интрузивными образованиями и локализованы в зонах древних долгоживущих разломов. На метасоматический генезис таких месторождений указывают текстурно-структурные особенности и гнейсоподобный облик их руд, характер контактов с вмещающими породами и другие признаки, детальнее описанные ниже.

Метасоматиты слагают линзо- и пластообразные тела, вытянутые согласно с простиранием разломов, образованы на месте гнейсов, кристаллических сланцев, бластомилонитов и за счет них, вследствие чего могут быть названы метаморфогенными. В промежутках между их телами и в висячих боках обычно встречаются генетиче[illegible] связанные с ними флюорит-поле[illegible] шпат-кварцевые прожилки и гнезд[illegible] акцессорной редкоземельно-берилл[illegible] вой (гадолинит, гельвин) минерали[illegible] цией. Геологи отнесли такие мета[illegible] матиты к группе щелочных приразл[illegible] ных полевошпатовых [4], включ[illegible] щей также породы, развившиеся [illegible] диабазовому, гранитному, вообще [illegible] неметаморфическому субстрату. З[illegible] мы их касаться не будем, поскол[illegible] они не сходны с магматогенными [illegible] тасоматитами первой группы.

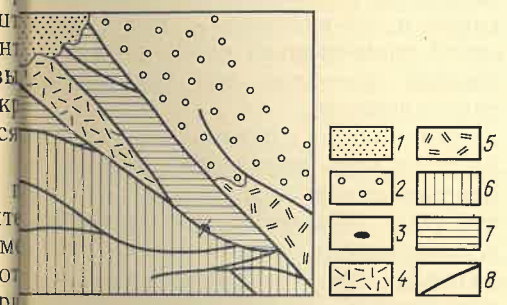
Содержания полезных компонен[illegible] в метаморфогенных метасомати[illegible] сильно колеблются, отношение Ta [illegible] тоже изменчиво и в среднем состав[illegible] ет 1 : 15. Рудные тела оконтуриваю[illegible] по бортовому содержанию мета[illegible] Редкометальные месторождения в р[illegible] сматриваемых метасоматитах масш[illegible] нее, чем в магматогенных. Концен[illegible] ция полезных компонентов в них вы[illegible] а выделения рудных минералов к[illegible] нее, что положительно сказывается [illegible] технологических свойствах руд.

Учитывая вышеизложенное, в [illegible] мышленное освоение предпочтит[illegible] нее вовлекать в первую очередь м[illegible] морфогенные месторождения, а от[illegible] да уже на поисковой стадии до при[illegible] нения дорогостоящих разведочных [illegible] бот необходимо правильно определ[illegible] с представителем какой из этих д[illegible] групп месторождений мы имеем д[illegible] Между тем, как показывает опыт [illegible] начальных стадиях изучения мета[illegible] фогенных метасоматитов и связан[illegible] с ними месторождений при недо[illegible] точном знании геологии района с[illegible] ство их по минералогии и геохим[illegible] магматогенными метасоматитами [illegible] редко приводит исследователей к о[illegible] бочному объединению этих двух гр[illegible] образований в один класс «апогра[illegible] ных», что влечет за собой устано[illegible] ние единых для тех и других пои[illegible] вых критериев и дезориентирует [illegible] логов-поисковиков. Целесообразно [illegible] этому выявить главные черты с[illegible] ства и различия месторождений в [illegible] матогенных и метаморфогенных м[illegible] соматитах на примере сравните[illegible] хорошо изученных представителей, [illegible] даст основание сформулировать [illegible] действительные поисковые крите[illegible]



[illegible] 1. Схематическая геологическая карта массива [illegible]лочных гранитов с магматогенными щелочными [illegible]асоматитами, по Е. Л. Емельянову и Г. Ф. Га[illegible]новой

[illegible] интрузивные рибекитовые щелочные граниты и [illegible]нит-порфиры; *2* — микроклин-альбитовые апогра[illegible]ты с рибекит-арфведсонитом; *3* — кварц-микроклин-[illegible]битовые апограниты; *4* — альбититы; *5* — флюо[illegible]-полевошпатовые метасоматиты надинтрузивной [illegible]ы; *6* — лейкократовые биотитовые граниты сред[illegible]о палеозоя; *7* — раннепалеозойские диориты, гра[illegible]ориты, габбро-диориты и диорит-сиениты; *8* — [illegible]стомилониты зоны «краевого шва» платформы; [illegible] кристаллические сланцы и мраморы позднего [illegible]ерозоя; *10* — контакты: *а* — фациальные, *б* — ин[illegible]вные; *11* — разрывные нарушения.



[illegible] 2. Структурное положение массива щелочных [illegible]нитов с магматогенными щелочными метасомати[illegible]ан (апогранитами), по тектонической карте Евра[illegible]

[illegible] — отложения платформенного чехла: *1* — кайно[illegible]ские, *2* — верхнепалеозойские и мезозойские; *3* — [illegible]сив позднепалеозойских щелочных гранитов и [illegible]асоматитов; *4—5* — троги, выполненные эффузив[illegible]терригенными породами: *4* — позднепалеозойский, [illegible] протерозойский; *6* — структуры каледонид и бай[illegible]ид; *7* — архейский фундамент платформы; *8* — [illegible]ональные разломы

В качестве представителя месторож[illegible]ний первой группы рассмотрим тан[illegible]л-ниобий-циркониевое с криолитом [illegible]сторождение в одном из районов [illegible]сточной Сибири (рис. 1,2). Оно рас[illegible]лагается в массиве рибекитовых гра[illegible]тов, входящих в состав щелочной [illegible]овинции. Массив приурочен к зоне [illegible]ресечения «краевого шва» архейской [illegible]атформы с поперечным разломом. [illegible]зраст гранитов, определенный K-Ar [illegible] U-Pb методами, 250±10 млн. [illegible]т [8]. В позднем палеозое вдоль это[illegible] шва существовал узкий, открывав[illegible]йся в эпиплатформенную впадину, [illegible]ог, где накапливались эффузивно-терригенные образования. Массив внедрился в юго-восточную оконечность трога, от которой сохранились лишь разобщенные клинья, не показанные на рис. 2. Он имеет в плане эллипсовидную форму (вытянут по «шву») и вскрыт эрозией более чем на 300 м. Контакты массива секущие, крутые, падение от центра, северный контакт положе южного.

Вмещающие породы представлены раннепалеозойскими габбро-диоритами, диоритами, позднепалеозойскими биотитовыми, биотит-амфиболовыми гранитами и лейкократовыми гранитами с ксенолитами протерозойских «апотерригенных» кристаллических сланцев и их мигматитов — производных амфиболитовой фации метаморфизма, а также полиминеральными кварцитами, возникшими в результате дислокационного метаморфизма тектонитов «краевого шва». В экзоконтакте массива развиты кварц-альбитовые, альбит-микроклиновые гнезда и жилки с флюоритом и сульфидами, а на расстоянии до 500 м от него (в надинтрузивной зоне) — флюорит-кварц-полевошпатовые жилки с акцессорными аквамарином, фенакитом, бертрандитом, сидеритом, сульфидами. В средней части массив пересекается широтным разрывом, вдоль которого располагаются мелкие ксенолиты диоритов и почти нацело ассимилированных гранитов.

Зональное строение массива выражено в том, что снизу вверх в нем прослеживаются породы, связанные между собой постепенными переходами: 1) пегматоидные лейкократовые кварц-микроклиновые граниты с редким альбитом (из-за небольшой площади выходов на рис. 1 не показаны); 2) гипабиссальные рибекитовые щелочные граниты и гранит-порфиры, местами с биотитом и убогой вкрапленностью пирохлора, циркона, в верхних частях метасоматически переработанные, превращенные в микроклин-альбитовые апограниты с рибекит-арфведсонитом; 3) мелко-среднезернистые микроклин-кварц-альбитовые метасоматиты с горошковидным кварцем, протолитионитом и сегрегационно перекристаллизованным амфиболом; 4) альбититы. Характерные акцессорные минералы 3-й и 4-й зон — малакон, циртолит, колумбит, ксено-

тим, ильменит, ильменорутил, в 3-й зоне развиты еще криолит, гагаринит, а в 4-й — циннвальдит, флюорит.

Рибекитовые граниты и гранит-порфиры мелкопорфировые, интрузивные, с вкрапленниками кварца и микроклина двух поколений. Крупные (сантиметровые) вкрапленники редки. Основная масса имеет кварц-микроклин-рибекит-альбитовый состав, гипидиоморфную, монцонитовую и луяврито-вую структуру. Порядок кристаллизации минералов агпаитовый. Кроме пирохлора и циркона, в гранитах присутствуют акцессорные магнетит и апатит. Часты миаролитовые пустоты с кварцево-микроклиновыми щетками, в которых изредка встречается и рибекит. Развиты жилки и гнезда метасоматитов, аналогичных таковым в 3-й и 4-й зонах. Эндоконтактовая фация гранитов представлена тонкопорфировыми гранит-порфирами.

На метасоматическое происхождение пород 3-й и 4-й зон указывают количественно непостоянный минеральный состав, наличие полосчатых, псевдослоистых, пятнистых, директивных текстур и неравномернозернистых, порфиробластовых, коррозионных структур; высокая степень пористости [8]. Игольчатый магматический рибекит в них сегрегационно перекристаллизован в крупнопризматический (до 1 см) с вростками альбита; зерна магматического кварца обрастают метасоматическим кварцем, захватившим лейсты альбита, ориентированные по зонам роста кристалла (структура «снежного кома»), и приобретают бипирамидальную форму. Магматический кварц прозрачный, бесцветный, метасоматический — дымчатый. По биотиту развивается протолитионит, появляется обильный лейстовый метасоматический альбит, причем лейсты пересекают выделения микроклина, кварца и магматического альбита. Пирохлор колумбитизирован, появляются акцессорные колумбит, ксенотим, флюоцерит, криолит, гагаринит, малакон, ильменорутил, касситерит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, молибденит и некоторые другие сульфиды.

Ксенолиты гранитов и диоритов, попадающие в 3-ю зону, тоже изменены: биотитовые граниты превращены в кварц-протолитионит-топазовые грей-

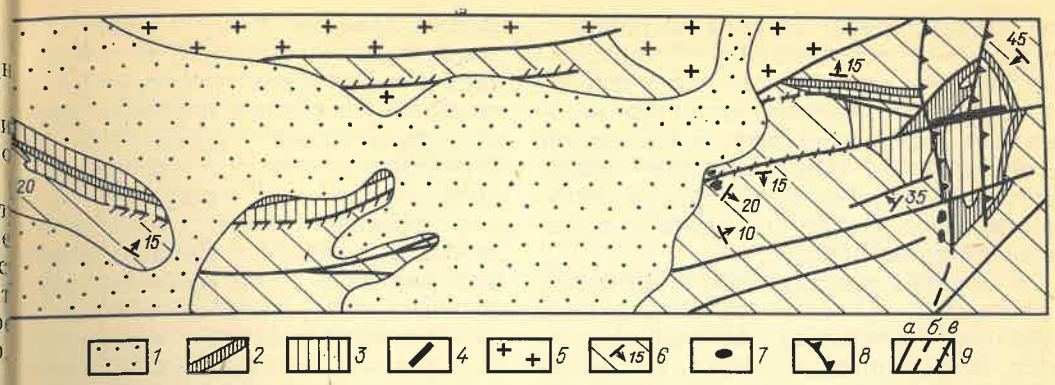
зены, диориты биотитизированы, держат обильную тонкую сульфид и флюоритовую вкрапленность. сравнению с интрузивными рибек выми гранитами метасоматиты об щены акцессорными минералами 10—12 %), главным образом кол битом. Особенности минералов м соматитов, а именно фазовый со полевых шпатов, степень метамик сти пирохлоров и другие, рассмотр в опубликованных работах [8 и др здесь не приводятся.

В породах 3-й и 4-й метасомат ских зон имеются кварц-карбона сульфидные, кварц-полевошпат-с рит-гётитовые и существенно альб вые с топазом жилки; 2-я — 4-я з вместе занимают практически весь димый объем массива. Породы 1-й ны развиты вдоль его южного кон та в виде небольших по площади ходов и, по-видимому, представл собой сравнительно слабо ассимил ванный ксенолит раннепалеозой гранодиоритов.

Зональное строение массива о ловлено как первичной фациаль (сменой снизу вверх по массиву р китовых гранитов прикровельн аляскитовыми гранитами и гранит литами), так и метасоматической нальностью, наложившейся на ф альную магматическую. В процессе тасоматоза граниты и аплиты при вельной части массива подверглись реработке практически нацело, а р китовые граниты — лишь в тех у ках, по которым просачивались пр водящие метасоматоз эманации.

Средние содержания Ta_2O_5 и N в первых двух из рассматриваемых низкие при отношении Ta : Nb от 1 до 1 : 20. В метасоматитах 3-й средние содержания этих же ко нентов выше, отношение Ta : N = 1 : 7 и, наконец, в альбититах 4-й ны они еще выше при отношении : Nb от 1 : 6 до 1 : 5.

По химическому составу гра массива принадлежат субщелочны щелочным агпаитовым (Na > K) г содам, пересыщенным глиноземо кремнеземом, с низкими содержа ми Ca и Mg. Метасоматиты при же особенностях их химизма хара ризуются повышенным по сравнен кларковым для гранитов содержа



с. 3. Схематическая геологическая карта района звития метаморфогенных щелочных метасомати-в, по Ю. В. Быкову, Д. Н. Гречишникову и авру

— рыхлые четвертичные отложения; 2—3 — метасо-титы: 2 — эгирин-арфведсонитовые, 3 — рибекит-фведсонитовые и аннитовые; 4 — диабазы; 5 — гра-ты; 6 — кристаллические сланцы, гнейсы, метапес-чаники, метаалевролиты, бластомилониты, метамор-физованные в зеленосланцевой фации метаморфиз-ма, и их элементы залегания; 7 — зоны развития флюорит-полевошпатовых жилок и гнезд (вне мас-штаба); 8 — надвиги; 9 — прочие разрывы, просле-женные (а), предполагаемые (б), зоны проявления вдоль них метаморфизма амфиболитовой фации (в)

а, Nb, Zr, Mn, Sn, Zn, Pb, Mo и некорых других элементов, пониженны — Be, Cs. Среднее содержание фто в них близко к кларковому для анитов. Над массивом прослежива-тся гамма- и литогеохимические (Nb, n, Mo, Y и др.) аномалии.

Глубина образования массива 1,5— км. По мнению изучавших его гео-гов, метасоматоз, видимо, обуслов-н действием сквозьмагматических анаций, так как жилки альбититов тречаются и в самых нижних, вскры-х эрозией частях массива. Источни-м же эманаций, вероятно, служили лубинные части того же или связан-го с ним промежуточного магматиче-кого очага» [8].

Другие массивы рибекитовых грани-в с редкометальным оруденением меют такой же возраст (верхний леозой, мезозой), сходные структур-ую приуроченность (к краевым и утренним разрывам фундамента атформ или срединных массивов анерозойских складчатых поясов, сто к грабен-синклиналям и трого-м прогибам позднего палеозоя и езозоя, наложенным на фундамент), азмеры и форму тел, минерально-етрографический состав и геохимиче-кие особенности; близки также и со-ржания в них полезных компонен-в [1, 9, 16].

Примером редкометальных место-ждений в метаморфогенных метасо-атитах может служить относительно хорошо изученное тантал-ниобий-циркониевое с криолитом месторождение в другом районе Восточной Сибири тоже в крупной щелочной провинции. Вблизи этого месторождения (рис. 3,4) развиты раннепротерозойские граниты, диабазы и главным образом метаморфические породы. Граниты слагают краевую часть крупного лополита, находящегося в основном за пределами района, диабазы — широтные дайки, прорывающие и граниты, и метаморфические породы. Последние представлены хлоритовыми и биотитовыми метапесчаниками, метаалевролитами, кварцитами — образованиями зеленосланцевой фации метаморфизма, развитыми регионально, косослоистыми,

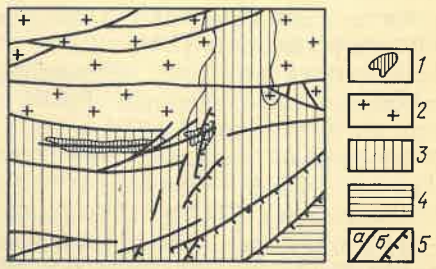


Рис. 4. Структурное положение метаморфогенных щелочных метасоматитов, по Ю. В. Буфееву, И. П. Щербаковой и В. С. Федоровскому, с добавлениями автора

Раннепротерозойские образования: 1 — щелочные метасоматиты, 2 — биотитовые, биотит-амфиболовые и лейкократовые граниты, 3 — гнейсы, кристаллические сланцы протоплатформенного прогиба, очковые гнейсы — бластомилониты; 4 — архейские породы, слагающие борта прогиба; 5 — главнейшие разрывные нарушения: а — сбросы, б — надвиги

со знаками ряби; мезо- и меланократовыми кварц-полевошпат-биотитовыми, редко с амфиболом или мусковитом, кристаллическими сланцами и очковыми микрогнейсами, с прослоями кварцитов — образованиями низких ступеней амфиболитовой фации, тяготеющими к зонам разломов и повышенной трещиноватости.

В породах спорадически встречается альмандин. Отмечаются мелкие тела раннепротерозойских, но более древних, чем граниты лополита, так называемых куандинских (становых) гнейсо-гранитов и их мигматитов (юго-восточная часть района, на рис. 4 не показаны), линзовидные скопления кварца с силлиманитом (фибролитом), иногда с магнетитом. Как показало детальное изучение этих пород С. П. Кориковским [10, 11], сланцеватость их зеленосланцево-метаморфизованных разностей ориентирована согласно с первичной слоистостью, а гнейсовидность глубже метаморфизованных гнейсов и кристаллических сланцев зон региональных разломов — согласно с залеганием последних. Альмандин, как известно, — типичный минерал высоких ступеней зеленосланцевой фации метаморфизма, а фибролит здесь не является индекс-минералом верхней андалузит-силлиманитовой субфации амфиболитовой фации, но вместе с кварцем и магнетитом он возник в результате постмагматического кислотного выщелачивания в связи со становлением куандинских гнейсо-гранитов [10, 11]. Очковые гнейсы представляют собой своеобразные бластомилониты зон древних разломов и маркируют эти зоны [14].

Абсолютный возраст метаморфических пород, определенный Pb-Pb методом по цирконам, 2—2,28 млрд. лет [5], гранитов лополита, по Pb-Pb, K-Ar и Rb-Sr методам, 1,8± ±0,1 млрд. лет [5, 10, 15], диабазов 1,7—1,65 млрд. лет. Время проявления метаморфизма, определенное K-Ar методом [10], 1,9—1,8 млрд. лет.

Протерозойские отложения, выполняющие юго-восточную оконечность раннепротерозойского протоплатформенного прогиба, лежат полого, местами горизонтально, ими сложена широтная мульда, севернее крыло которой уничтожено интрузией, сформировавшей лополит. У борта прогиба ории рибекит — железистый арфведсинклинали воздымается и поворачит. Сквозные акцессорные минерает к северу, так что структура ы — пирохлор, циркон, ильменит. Сремыкается. Залегание пород на крыл акцессорных много фторидов, в чаях периклинали крутое (50—70 ности, криолита, содержание которо- Структура осложнена ортогональн максимальное в эгирин-амфиболо- системой разломов, в широтных разл х метасоматитах (до 12 %, в средмах сбросового типа локализуютм 2,5 %). Кроме сквозных акцессо- диабазовые дайки. Субмеридионалев, для биотитовых метасоматитов ные разрывы типа надвигов паралличны акцессорные колумбитизиро- лельны надвигу архейского борта пный пирохлор, редкоземельный гиба на выполняющие его отложенлюорит, для амфиболовых — флюо- Все разрывы долгоживущие, актирит, гагаринит, криолит, для эгирин- зировавшиеся и в кайнозое. фиболовых — гематит и криолит.

Метасоматиты приурочены к з По химическому составу метасома- широтных разломов. Ими образоваты соответствуют щелочным (Na> два линзообразных тела (западное К) гранитам, характеризуются ма- А и восточное — Б) мощностью бо ми содержаниями Ca и Mg, высоки- 500 м. Тело А вытянуто вдоль раз SiO_2, Al_2O_3, F, вышекларковыми ма почти на 10 км, тело Б из-за бл я гранитов — Ta, Nb, Zr, Zn, Mo, Pb, ковой тектоники имеет в плане сл и некоторых других элементов-при- ные очертания. Метасоматиты пр сей.

ставляют собой тонкопористые (м Контакты метасоматитов с вмещаю- симальная пористость 1,7, а в бласми породами отчетливые, постепен- милонитах 1,3), участками каверн е, с сегрегационной перекристалли- ные породы пятнистой, такситов ией биотита кристаллических слан- гнейсовидной и полосчатой текс в и бластомилонитов, приводящей к ры, с неправильным чередоваразованию своеобразных «слюди- тонко- и крупнозернистых разнос », с «заливами» материала метасо- одинакового минерального состава титов во вмещающие породы, со- коррозионными взаимоотношени вождающимися формированием минералов. По минеральному сост гматитоподобных зон. Ближние эк- они отвечают щелочным гранитам. контакты обогащены акцессорными люоритом, цирконом, чевкинитом, ильгауитом, апатитом, иногда колум- том или эвксенитом, приоритом. Од- из этих минералов, как сейчас ус- новлено, выделяются при выносе из бстрата метасоматитов P, Ca, Mg, угие — в результате выноса юве- льных F, Y и отдельных других эле- нтов, содержащихся в производя- их метасоматоз флюидах [4, 12 др.]. В висячих боках метасоматиче- их тел и между ними имеются гнез- и жилы кварц-полевошпатового со- ава с акцессорными гадолинитом, ритом, сидеритом, малаконом, суль- дами.

Строение тел асимметричное, по речно-зональное — от лежачего бок висячему биотитовые и биотит-ам боловые породы сменяются амфиб выми, которые переходят в эгир амфиболовые, далее зональность ратная, а мощность зон висячего б включая эгирин-амфиболовые мета матиты, превышает мощность зон жачего бока. Границы зон отчетли но постепенные и фиксируются по с не как темноцветных минералов (тита амфиболом, амфибола эгирино так и ранних генераций кварца, по вых шпатов, сквозных акцессор минералов поздними, а также по из нению «набора» второстепенных м ралов.

Установлено, что слюда пород пр ставлена не биотитом, а литийсодер щим аннитом, амфиболы в б тит-амфиболовых разностях — риб том, в эгирин-амфиболовых — жел стым арфведсонитом, в амфиболов промежуточными членами изоморф

В метасоматических телах сохранись неполностью замещенные участ кристаллических сланцев и бласто- лонитов разных размеров (кубиче- е сантиметры и метры), окаймлен- е сегрегационно перекристаллизо- нным биотитом. Внутри них наблю- ются новообразованные астрофил- т, альбит, циркон, флюорит, иногда колумбит, криолит, гагаринит. Если такие «ксенолиты» располагаются среди эгирин-амфиболовых метасоматитов, то за слюдитовой оторочкой вокруг них развиваются зонки биотитовых, а затем амфиболовых метасоматитов. Тело Б содержит также крупный «ксенолит» — дайку диабазов и роговиков в ее экзоконтакте (общим объемом более 40 000 м³), которые из-за высокой плотности и тонкозернистости метасоматически почти не переработаны. В них наблюдаются только флюорит и тонкие альбит-кварцевые жилки, иногда с пирохлором.

Таким образом, метасоматиты моложе диабазов послегранитного дайкового комплекса. Они тесно ассоциируют с метаосадочными породами амфиболитовой фации, их гнейсовидность согласна с гнейсовидностью этих пород, почти перпендикулярной сланцеватости зеленосланцево-метаморфизованных разностей. На контактах с последними (северо-западная оконечность тела Б) в метасоматитах еще кое-где сохраняется первичная слоистость пород субстрата в виде трещин отдельностей с волноприбойной рябью.

Абсолютный возраст метасоматитов, определенный Pb-Pb методом по пирохлорам и цирконам, колеблется от 2,2 для ранних генераций этих минералов до 1,6 млрд. лет — для поздних. В цирконах пород имеются ядра цирконов субстрата возрастом 2,5 и 2,8 млрд лет [5]. Однако главные этапы потери нейтронов минералами — 1,9 и 1,8 млрд. лет, т. е. время образования метасоматитов длительное, а время проявления главных этапов этого процесса близко времени метаморфизма. В метасоматитах установлены высокое первичное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$, обусловленное мобилизацией радиогенного стронция из коры производящими метасоматоз флюидами, и минимальная концентрация мантийного стронция [15].

Содержание Ta, Nb, Zr в породах тела А низкое. В метасоматитах тела Б оно выше, но сильно варьирует от зоны к зоне, достигая максимальных значений в эгирин-амфиболовых породах и в непосредственно примыкающей к ним части амфиболовых образований. Эти разности и представляют собой рудные тела. В зоне круп-

ного надвига, пересекающего тело Б, сосредоточены анхимономинеральные пирохлоровые тантал-ниобиевые и криолитовые руды, сформировавшиеся, вероятно, в результате перераспределения вещества во время интрарудных подвижек по надвигу. Основные полезные компоненты месторождения — Ta, Nb, Zr, а криолит и редкие земли, выделяющиеся в селективный флюорит-гагаринитовый концентрат, — второстепенные. Однако главная масса флюорита заключена в биотитовых метасоматитах и в породах экзоконтакта, бедных основными компонентами. По химическому составу редкометальные руды отличаются от вмещающих их пород меньшими содержаниями Ca, Mg и более высокими Ta, Nb, Na, F. Детальная характеристика условий залегания и вещественного состава пород и руд месторождения приведена в ряде опубликованных работ [12, 14, 15 и др., в том числе и автора].

Метасоматический генезис месторождения и метаморфическая природа его субстрата у исследователей сомнений не вызывают [4, 5, 6, 12, 14, 15 и др.], хотя в отдельных обобщающих работах [15] оно отнесено к апогранитному типу.

Температура гомогенизации газово-жидких включений в переотложенном криолите поднадвиговой зоны 90—280 °C. Включения гомогенизируются в жидкую фазу, что свидетельствует о выделении криолита из гидротермальных растворов. Температура эвтектики показывает наличие фторидной солевой системы в этих растворах [13]. Судя по сосуществующим в рудах месторождения минералам-геотермометрам, метасоматический процесс протекал при температурах около 500 °C и чуть выше в его тыловых зонах (эгирин-амфиболовые породы) и 250—300 °C — в передовых. Источником рудного вещества, по-видимому, служили подкоровые флюиды, богатые Na, F, Ta, Nb, Zr и некоторыми другими элементами. Они захватывали при просачивании через кору отдельные коровые элементы, например стронций.

Сходные с рассмотренными метаморфогенные метасоматиты обнаружены в аналогичных структурных условиях: в срединных массивах фанерозойских складчатых поясов и в краевых частях древних платформ, где тоже приурочены к зонам развития глубинных долгоживущих разломов и зонам повышенной трещиноватости [3, 7 и др.]. В одних случаях они представлены существенно микроклиновыми разностями с акцессорной бериллиевой минерализацией, в других — слюдистыми с эгирином, содержащими акцессорную тантал-ниобиевую (пирохлор, колумбит) минерализацию. Чем обусловлен разный состав метасоматитов и их рудной акцессорной минерализации в разных районах пока неясно.

На основании вышеизложенного можно наметить следующие главные отличительные признаки магматогенных и метаморфогенных щелочных метасоматитов и связанных с ними месторождений.

Из геолого-структурных признаков различны прежде всего возраст, структурное положение и морфология. Магматогенные метасоматиты и их месторождения — фанерозойские образования, возраст их позднепалеозойский или мезозойский. Массивы гранитов, вмещающие метасоматиты, небольшие гипабиссальные, по соотношению с вмещающими их структурами посторогенные. Они располагаются в грабен-синклиналях и шовных трогах, наложенных на фундамент древних платформ или на срединные массивы областей завершенной складчатости и выполненных главным образом эффузивами, комагматичными гранитам этих массивов, а также в разломах на продолжении таких структур после их выклинивания. Грабен-синклинали и троги по тектоно-магматическим особенностям представляют собой фрагменты континентальных рифтовых и палеорифтовых систем.

Метаморфогенные метасоматиты и их месторождения докембрийские. Лишь некоторые из них позднепалеозойские, но, как правило, они не вкрест пересекают сколько-нибудь значительные месторождения. Тела этих метасоматитов плито- и линзообразные (отношение длины к ширине 1 : 5; 1 : 10 и более), конкордантные с элементами залегания сланцеватости и гнейсовидности вмещающих пород. Метаморфогенные метасоматиты не связаны генетически с какими-либо интрузивами и локализуются в зонах развития долгоживущих региональных разломов, вдоль которых региональный прогрессивный метаморфизм повышался от зеленосланцевой до низких — средних ступеней амфиболитовой фации. Они пространственно ассоциируют с образованиями амфиболитовой фации и обычно синхронны с ними по времени начала формирования, которое «растягивается» (в изученных случаях) на длительный срок.

Внутреннее строение месторождений тоже неодинаковое. В телах магматогенных метасоматитов прослеживается вертикальная зональность: от глубоких частей массивов рудоносных гранитов к апикальным метасоматически не измененные рибекитовые и рибекит-биотитовые граниты сменяются аляскитовыми кварц-биотит-микроклиновыми метасоматитами, а те, в свою очередь,— альбититами. Генерации породообразующих, рудных и акцессорных минералов магматогенных метасоматитов имеют одинаковый абсолютный возраст. Перераспределения рудного вещества, как правило, не наблюдается.

В телах метаморфогенных метасоматитов зональность латеральная — поперечная и продольная. Поперечная зональность симметричная: от трещины, по которой поднимаются производящие метасоматоз эманации, в обе стороны прослеживаются последовательно сменяющие друг друга зоны одинакового минерального состава (в рассмотренном случае эгирин-амфиболовая, амфиболовая и биотит-амфиболовая на каждой стороне). Продольная зональность выражается в уменьшении (вплоть до исчезновения) содержаний рудных и большинства акцессорных минералов в каждой зоне по простиранию метасоматических залежей и в выклинивании самих залежей, «фациально замещающихся» слабо метасоматически переработанными вмещающими породами (с наложенной акцессорной флюорит-бериллиевой минерализацией). Метаморфогенные метасоматиты и их месторождения — многоэтапные образования. Генерации их минералов характеризуются разным абсолютным возрастом, причем более поздние генерации имеют более молодой возраст. При подвижках по внутрирудным разломам в указанных метасоматитах происходило частичное перераспределение вещества с обогащением рудными минералами участков метасоматических тел повышенной проницаемости, например поднадвиговых полостей.

Магматогенные метасоматиты не распространяются за пределы вмещающих их гранитных массивов. Поэтому их контакты с вмещающими породами, как и контакты самих метасоматитов, секущие. С материнскими гранитами контакты постепенные. В метасоматитах наблюдаются реликты разной формы непереработанных или слабопереработанных материнских гранитов. Имевшиеся в гранитах ксенолиты вмещающих пород в метасоматитах в общем сохраняются, если они представлены более или менее основными породами, и практически полностью замещаются, если это были алюмосиликатные кислые образования, например граниты.

Контакты тел метаморфогенных метасоматитов, на первый взгляд, резкие, в действительности имеют постепенный (особенно в висячих боках тел) характер через зону (мощностью 5—50 м) тонкого «переслаивания» жило- и линзообразных апофиз метасоматитов во вмещающие породы с самими этими породами, в которых по контакту с апофизами образуется тонкая прерывистая слюдитовая оторочка из перекристаллизованного биотита. Текстуры метасоматитов согласные с гнейсовидностью метаморфических пород амфиболитовой фации, в которых они обычно залегают *. Но, как и последняя, они дискордантны по отношению к сланцеватости образований зеленосланцевой фации, находящихся вне влияния зон разломов, т. е. к сланцеватости, наследующей первичную слоистость.

В рассмотренном случае согласная ориентировка текстур метасоматитов и вмещающих их пород имеет место в восточной половине тела Б, а в его северо-западном контакте, где метаалевролиты зеленосланцевой фации

* Видимо, из-за того, что те и другие формировались в условиях бокового стресса.

непосредственно контактируют с метасоматитами, ориентировка гнейсовидности последних (субширотное простирание, крутое падение на юг) резко дискордантна по отношению к элементам залегания сланцеватости метаалевролитов (широтное простирание, пологое до горизонтального падение к северу). Сохранность реликтов субстрата в метасоматитах зависит от зернистости, пористости и местоположения реликта: в передовой зоне развития процесса (биотитовых породах) они сохраняются лучше, чем реликты тех же пород в тыловой зоне (эгирин-амфиболовых метасоматитах). Плотные тонкозернистые породы перерабатываются весьма слабо независимо от их местоположения.

Различие петрографических признаков состоит в том, что в магматогенных метасоматитах часто сохраняются интрузивные порфировые структуры, особенно хорошо — вкрапленники кварца. Вследствие обрастания метасоматическим кварцем они превращены в бипирамидальные кристаллы, приобрели дымчатый цвет и внутреннюю структуру типа «снежного кома». Кварцевые вкрапленники распределяются неравномерно, скапливаясь в «прослои», гнезда, линзы.

В метаморфогенных метасоматитах подобный кварц не встречается. В них зерна кварца неправильно-лапчатые, с амебовидными выступами, корродирующие выделения других минералов. Коррозионные структуры — вообще характерный признак метаморфогенных метасоматитов, хотя необходимо отметить, что наряду с ними в этих метасоматитах встречаются детали структур, напоминающие гранитные, на что обращено специальное внимание при характеристике метаморфогенных метасоматитов Полярного Урала [3]. Метаморфогенным метасоматитам свойственны также «унаследованная плойчатость, подчеркнутая рисунком распределения слюд и некоторых других минералов» [3, с. 55], крайняя неоднородность текстур; наличие крупных (от 1—3 до 50 см по длинной оси), плоских выделений амфибола, реже микроклина, в концевых частях переполненных мелкими вростками окружающих минералов, сохранивших свою первоначальную ориентировку. Такие выделения — результат роста в узких протяженных полостях (трещинах в субстрате). Для каждой зоны метаморфогенных метасоматитов характерны жило-линзообразные крупнозернистые выделения одинакового с породами зоны минерального состава, причем табличатые минералы в них (амфибол, эгирин) вытянуты параллельно контактам выделений. Это указывает на твердое состояние стенок жильных полостей в период их выполнения.

Минеральный состав магматогенных метасоматитов близок составу передовой и центральной зон метаморфогенных, а тыловая зона последних сходна по составу с гранитами, материнскими для магматогенных метасоматитов. Так, для последних, как для передовой зоны метаморфогенных метасоматитов, характерны слюды подгруппы биотита, альбит, микроклин-пертит, колумбит или колумбит-зированный пирохлор, флюорит, ксенотим, топаз. Переходной к гранитам зоне, подобно центральной зоне метаморфогенных метасоматитов, свойственны рибекит, арфведсонит, промежуточный микроклин, таблитчатый альбит, из акцессориев — криолит, гагаринит, пирохлор, циркон, флюоцерит. Касситерит, дымчатый кварц и ильменорутил в значимых количествах встречены лишь в первой, а в метаморфогенных метасоматитах их находки единичны. Для тыловой зоны метаморфогенных метасоматитов, как и для рибекитовых гранитов, типичны рибекит, циркон, ильменит, пирохлор, максимальный микроклин, альбит; лишь в первых имеются арфведсонит, эгирин, гагаринит, криолит.

В целом минеральные ассоциации метаморфогенных метасоматитов несколько более щелочные по сравнению с таковыми магматогенных. В надинтрузивных зонах рудоносных рибекитовых гранитов, как и в породах экзоконтактового ореола метаморфогенных метасоматитов, отмечается акцессорная бериллиевая минерализация, но в разных минеральных формах.

Геохимические признаки обеих групп метасоматитов, подобно минералогическим, в общем сходны. Породы характеризуются низкими содержаниями Ca, Mg, P, Cs, B, повышенными (против кларков для щелочных гранитов) — Na, F, Ta, Nb, Zr, Zn и некоторых других элементов; F, Na, Rb, Hf накапливаются, а значения отношений Ta/Nb, Hf/Zr, Rb/K увеличиваются в них к концу процесса. За фронт его проявления выносятся Be, Y и другие элементы [4, 9, 12, 14 и др.]. Тренды составов редкоземельных элементов магматогенных метасоматитов идентичны таковым материнских гранитов [1], а у метаморфогенных они, по нашим данным, аналогичны трендам составов вмещающих пород. В магматогенных метасоматитах обогащены верхние зоны [1], а в метаморфогенных — передовая зона и экзоконтакты.

Последовательность минералообразования определяется термодинамикой процесса метасоматоза. Метаморфогенные метасоматиты формировались в условиях повышения температуры от передовой зоны развития процесса (300 °C и менее) к тыловой, где она была близка к температуре плавления богатых Na и F гранитных расплавов (500—600 °C), а после прекращения притока флюида — в условиях остывания системы в целом [3, 4, 7, 14]. Магматогенные метасоматиты возникали при остывании магматического очага, сопровождавшемся понижением температуры от свойственной гранитному расплаву до характерной для гидротермальной деятельности [2, 9].

В соответствии с этим и экспериментальными данными по синтезу минералов последовательность минералообразования в том и другом процессах различна. Наиболее ярко она выражена в темноцветных минералах. В метаморфогенных метасоматитах установлена такая последовательность их выделения (от ранних к поздним: литиевый аннит, рибекит, промежуточные члены изоморфной серии рибекит — железистый арфведонит — эгирин, а в магматогенных обратная: магматический эгирин, магматический рибекит, метасоматический амфибол ряда рибекит — железистый арфведсонит — литиевый биотит и протолитионит.

Исходя из вышеизложенного можно сформулировать главные поисковые критерии редкометальных месторождений в магматогенных и метаморфогенных щелочных метасоматитах.

1. Месторождения обоих типов располагаются в пределах щелочных провинций платформ и срединных массивов областей завершенной складчатости.

2. Метаморфогенные рудоносные метасоматиты в большинстве случаев докембрийские, локализуются в зонах развития глубинных разломов и повышенной трещиноватости, залегают среди регионально метаморфизованных пород различного состава, являющихся их субстратом. Метаморфизм пород зональный — преимущественно зеленосланцевый, но в зонах глубинных разломов и повышенной трещиноватости возрастает до низких ступеней амфиболитовой фации. Формирование этих метасоматитов и их месторождений близко одновременно процессу проявления регионального метаморфизма, но, по-видимому, оно было значительно более продолжительным.

Щелочные граниты имеют позднепалеозойский и более молодой возраст, а располагаются в зависимости от места их внедрения (в горсты бортов трогов и грабенов или в сами эти структуры) как среди древних по отношению к ним, так и среди близких им по возрасту осадочно-метаморфических и эффузивно-терригенных образований.

3. Тела метаморфогенных метасоматитов линзо- и пластообразные, согласные с гнейсовидностью вмещающих пород и часто усложненные последующей тектоникой. Массивы щелочных гранитов лакколито-лополито- и штокообразные, в плане овальные и округлые, с крутыми (до вертикальных) секущими контактами, по сравнению с телами метаморфогенных метасоматитов небольшие.

4. В висячих боках и на простирании тел метаморфогенных метасоматитов после их выклинивания обычно нахождение микроклин-альбитовых (с акцессорными гадолинитом, гельвином, бериллом) и редкоземельно-флюоритовых гнезд и жилок, а в надинтрузивных зонах редкометальных щелочных гранитов — прожилково-сетчатых зон с акцессорной же фенакит-бертрандитовой и флюорит-берилловой минерализацией.

5. Общими для месторождений обеих групп поисковыми критериями являются: присутствие щелочных амфибо-

лов, эгирина, литиевых слюд, криолита; высокие содержания Na, F и низкие Ca, Mg; наличие над ними гамма-литогеохимических (Nb, Y, Zr, Mo, Pb, Zn) и других аномалий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексиев Е. И.* Редкоземельные элементы в молодых гранитах Северной Нигерии и Камеруна и их генетическое значение. — Геохимия, 1970, № 2, с. 192—199.
2. *Альбитизированные* и грейзенизированные граниты (апограниты)/А. А. Беус, Э. А. Северов, А. А. Ситнин, К. Д. Субботина. М., Изд-во АН СССР, 1962.
3. *Апельцин Ф. Р., Скоробогатова Н. Е., Якушин Л. Н.* Генетические черты редкометальных гранитоидов Полярного Урала. М., Недра, 1967.
4. *Архангельская В. В., Гинзбург А. И., Шацкая В. Т.* Полевошпатовые метасоматиты — новый генетический тип месторождений полезных ископаемых. — Разведка и охрана недр, 1973, № 1, с. 2—11.
5. *Архангельская В. В., Сумин Л. В.* О длительности процесса редкометального метасоматического рудообразования в докембрии. — Докл. АН СССР, 1982, т. 263, № 6, с. 1451—1454.
6. *Герасимовский В. В., Залашкова Н. Е.* Криолит и томсенолит из щелочных кварц-полевошпатовых метасоматитов. — Минералогический журнал, 1981, № 4, с. 51—58.
7. *Гуров Е. П., Гурова Е. П., Юрк Ю. Ю.* Особенности минералогии фтора Украинского кристаллического щита. Киев, Наукова думка, 1973.
8. *Емельянов Е. Л., Галимова Т. Ф.* Об э[illegible] догенной зональности редкометального ор[illegible] денения в ряду щелочные граниты — фл[illegible] орит — полевошпатовые метасоматиты. [illegible] Геология и геофизика, 1982, № 2, с. 66—7[illegible]
9. *Коваленко В. И.* Петрология и геохим[illegible] редкометальных гранитоидов. Новосибир[illegible] Наука, 1977.
10. *Кориковский С. П.* Кварц-силлиманитов[illegible] фация кислотного выщелачивания в гра[illegible] то-гнейсовых комплексах. — Докл. А[illegible] СССР, 1963, т. 152, № 1, с. 187—190.
11. *Кориковский С. П.* Границы фаций рег[illegible] нального метаморфизма в бедных кальц[illegible] породах. — В кн.: Актуальные вопросы [illegible] временной петрографии. М., Наука, 19[illegible] с. 221—239.
12. *Кудрин В. С.* О формации редкометальн[illegible] кварц-полевошпатовых метасоматитов [illegible] региональных разломов. — Геология р[illegible] ных месторождений, 1972, т. 14, с. 41—[illegible]
13. *О генезисе* криолита/Ф. Я. Корет[illegible] В. С. Кудрин, В. Ю. Прокопьев, С. В. [illegible] бенко. — Докл. АН СССР, 1984, т. 2[illegible] № 6, с. 1464—1467.
14. *Прохоров К. В.* Редкометальные высо[illegible] температурные натриевые метасоматит[illegible] условия их образования. — Геология р[illegible] ных месторождений, 1984, т. 26, вып. [illegible] с. 36—48.
15. *Рубидий-стронциевый* возраст рапакиви[illegible] добных гранитов и метасоматитов Кату[illegible] но-Аянской зоны/Л. В. Таусон, В. Н. Со[illegible] ченко, Г. С. Плюснин и др. — Докл. [illegible] СССР, 1983, т. 273, № 5, с. 1233—1236.
16. *Солодов Н. А.* Основы прогнозирова[illegible] поисков и перспективной оценки месторо[illegible] дений тантала и ниобия. М., Недра, 19[illegible]

УДК 553.411

П. Ф. ИВАНКИН (ЦНИГРИ), П. В. ИНШИН (ОЭИ ЦНИГРИ),
Н. И. НАЗАРОВА (ПГО «Самаркандгеология»)

Особенности отложения золота в черносланцевых зонах

В ряду других металлов золото отличается удивительными свойствами: при относительно низком кларке оно повсеместно распространено в тех или иных количествах, что дало основание В. И. Вернадскому назвать его «всюдным» металлом. Во многих магматических, метаморфических и метасоматических породах золото концентрируется в количествах, превышающих его кларк на один — два порядка, в промышленных же месторождениях содержание его превышает кларк на три — четыре порядка и более.

Золото является характерным сопутствующим металлом в рудах, образующихся при дифференциации собственно мантийных (медно-никелевые, м[illegible] ноколчеданные и др.), мантийно-к[illegible] вых андезит-дацитовых и липарит[illegible] зальтовых (золото-серебряные, ме[illegible] порфировые, касситерит-сульфидны[illegible] другие рудные формации) магм, а [illegible] же внутрикоровых палингенных гр[illegible] тоидных расплавов, формирующих [illegible] толиты «пестрого состава» (зол[illegible] рудные, золото-редкометальные, с[illegible] ново-магнетитовые и другие местор[illegible] дения). Наряду с медью, никеле[illegible] ванадием, оно относится к метал[illegible] содержащимся в нефтях, природ[illegible] битумоидах и различных углеродис[illegible] сланцах. Общеизвестно нахожд[illegible] золота в морской воде, где оно при[illegible]

ствует в нескольких формах — коллоидной, ионной — хлоридной и металлоорганической [3].

Эти особенности поведения золота в [illegible] емной коре и гидросфере несомненно связаны с его химическими свойствами — переменной валентностью и способностью образовывать простые и сложные комплексы со многими элементами, в частности с серой, кислородом, хлором, мышьяком, углеродом, водородом, азотом и др. По этой же причине при изменении физико-химических условий золото может вести себя и как типично халькофильный, и сидерофильный, и гидрофильный и биофильный элемент.

Выявление форм его переноса рудообразующими флюидами — проблема сложнейшая и во многом пока не решенная, несмотря на то что как в отечественной, так и зарубежной литературе она активно обсуждается на протяжении длительного времени. А. Е. Ферсман допускал миграцию золота в форме комплексных солей со щелочами и серой, разделяя идею Линдгрена о совместной миграции коллоидальных растворов кремнекислоты и золота.

Многие ученые полагали, что основными формами вхождения золота в гидротермальные растворы были хлоридные комплексы. Однако работами П. Клока и В. Келли [14], а также ряда других исследователей показано, что возможность нахождения хлоридного комплекса золота в водном растворе требует высокого окислительного потенциала и относительно большой кислотности. С увеличением щелочности растворов и отношения NaCl/HCl устойчивость хлоридных комплексов снижается, что приводит к распаду их с образованием окиси или гидроокиси золота. Согласно термодинамическим расчетам А. Л. Павлова и Л. И. Павловой [11], появление в хлоридных растворах даже малых количеств сероводорода приводит к осаждению золота.

Тиосульфидная форма переноса золота доказана как теоретическими расчетами, так и экспериментально. Известно, что в щелочных и нейтральных растворах при температуре 150—200° одновалентное золото образует комплекс AuS^-, который, по данным термодинамических расчетов Р. Горрельса и Х. Крайста, может находиться в водном растворе при pH от 2 до 14 и высоких $P-T$ параметрах, соответствующих эндогенному рудообразованию. По данным К. Краускопфа [15], в щелочных сероводородсодержащих растворах весьма устойчивы комплексы одновалентного золота AuS^-, AuS_2^-, а по данным В. В. Щербины [13], кроме того, комплекс трехвалентного золота типа AuS_3^{3-}.

Следует добавить, что в тиосульфидной форме могут переноситься и многие другие тяжелые металлы — характерные спутники золота: серебро, медь, свинец, цинк и др. При этом парагенезис металлов будет зависеть от типа лигандов в растворе и его щелочно-кислотных свойств.

В ряде работ Н. Г. Тюрина и И. А. Каковского [12] развивается идея о возможности переноса золота в гидротермальных растворах в виде тиосульфатных комплексных соединений, которые могут сменять сульфидные комплексы по мере эволюции растворов от ранних к поздним стадиям рудообразующего процесса. Кроме того, для гидротермальных условий минералообразования предполагались гидросульфидные, серно-мышьяковые, гидроксониевые, металлоорганические и другие формы переноса золота. Анализ этих данных и личный опыт изучения золоторудных месторождений привел авторов к выводу, что не следует искать единый универсальный процесс переноса и отложения золота, применимый для месторождений различного формационного и генетического типов.

Физико-химические условия петро- и рудогенеза кардинально различаются, поэтому свойства минерализующих флюидов, их состав, как и причины отложения металлов, должны быть различными и выявляться применительно к конкретным условиям, определяющим специфику рудогенеза. Так, видимо, при формировании скарново-золоторудных месторождений преобладает перенос золота вначале в форме высоколетучих хлоридных комплексов, затем — тиосульфидных; причинами же отложения являются снижение $P-T$ параметров и повышение pH растворов при выходе их из интрузива в зону экзоконтакта.

Классические кварцевожильные плутоногенные месторождения, корни которых всегда располагаются в гибридных породах эндоконтакта и нижних частей гранитоидных плутонов, напротив, сформированы кремнещелочными водными флюидами на поздних стадиях становления плутонов. Экстрагирование золота связано с фильтрацией такого флюида сквозь материнские гибридные породы, роговики и вулканогенно-осадочные отложения. Золото переносилось, судя по минеральным парагенезисам и $P-T$ параметрам, в форме тиосульфидных, гидросульфидных и аксониевых комплексов и отлагалось вследствие окисления и вскипания растворов в трещинных полостях обычно позже их инъекционного заполнения щелочно-кремнистым высококонцентрированным раствором. Загустение и раскристаллизация последнего сопровождались частичным захватом газово-жидкостных фаз, содержащих золото, хотя основная его масса вместе с сопутствующими минералами продуктивных ассоциаций выпадала после консолидации и деформации жильного кварца. Этим объясняются повсеместная тесная пространственная связь золота с кварцевыми жилами на плутоногенных месторождениях и неравномерность промышленной продуктивности жил и жильных систем на рудных полях.

Однако совершенно иные специфические условия имели место при образовании золоторудных месторождений в черносланцевых зонах. Для таких месторождений характерны постоянная связь с углеродистой терригенной средой низких ступеней регионального метаморфизма, обычно большая протяженность рассеянной минерализации по латерали и вертикали, отсутствие заметного гидролитического разложения и кислотного выщелачивания вмещающих пород. Наши исследования [6, 7, 10] показали, что на таких месторождениях породы вначале подвергаются углеродистому метасоматозу и железо-магнезиальной карбонатизации. Затем происходят окисление углеродистого вещества, перекристаллизация кварца, отложение калишпата, шеелита, флогопита, более поздних генераций карбонатов, образование гидрослюд, вкрапленников сульфидов, а также осаждение благородных металлов. Для руд характерен однотипный набор сульфидов (преимущественно пирит и арсенопирит, реже пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды) и жильных минералов (кварц, карбонаты, калишпат, серициты, углеродистые вещества), относительное постоянство сульфидов (3—5 %) и низкое, но устойчивое содержание золота в рудах. Преобладает либо самородная форма выделения мелкого золота, либо тонкодисперсная (микронная) вкрапленность в сульфидах, преимущественно в арсенопирите, отмечается также его тесная парагенетическая ассоциация с кварцем, различными углеродистыми веществами, сидеритом и железо-магнезиальными карбонатами.

Указанные особенности этих месторождений свидетельствуют об образовании руд из щелочных, сильно восстановленных флюидов, специализированных на золото, кремнекислоту, углеводороды, мышьяк, сурьму и серу. Для такой системы ни одна из рассмотренных выше форм переноса золота неприемлема. В частности, хлоридная форма несовместима с парагенезисом сульфиды — кварц-углеродистые вещества, так как требует окислительной и кислой обстановки. Т[illegible] сульфидная и гидросульфидная фор[illegible] переноса в этих условиях, хотя и в[illegible]можны, но они не обеспечивают вы[illegible]кой специализации растворов на зо[illegible]то, совместную миграцию его с уг[illegible]водородами, а также возможно[illegible] возникновения парагенезиса угле[illegible]дистых веществ с сульфидами и си[illegible]ритом; последний мог образовать[illegible] лишь в условиях умеренного пар[illegible]ального давления серы в системе. [illegible]этому тио- и гидросульфидный по[illegible]нос золота при формировании рассм[illegible]риваемых месторождений также [illegible]ключен.

Петроструктурные и минералого-[illegible]мические исследования привели ав[illegible]ров к выводу, что в истории форми[illegible]вания этих месторождений выделя[illegible]ся два этапа, резко различающи[illegible] по физико-химическим условиям ми[illegible]ралообразования: 1) метасоматичес[illegible] преобразований дислоцированных [illegible]род под воздействием ювениль[illegible] сильно восстановленных флюидов; 2) метасоматического замещения углеродистых пород под воздействием вторичных окисленных флюидов. Различная полнота проявления этих этапов минерализации и меняющиеся их соотношения в конкретных геологических условиях определяют наблюдаемое разнообразие типов измененных пород и руд на золоторудных полях в углеродистых терригенных толщах.

Типичная позиция метасоматитов и руд первого этапа такова. Проявляясь в обстановке активизации глубинных разломов, углеродистый метасоматоз приурочен к зонам повышенной проницаемости складчатых терригенных толщ, обусловленных раннеорогенными деформациями. Возникающие при этом зоны рассланцевания, катаклаза и милонитизации пород (мощностью от нескольких десятков до первых сотен метров и протяженностью до 10—15 км) являются наложенными по отношению к складчатым структурам и напластованию пород. Известны как субсогласные зоны, срезающие складчатые структуры под острым углом и имеющие крутое (до вертикального) падение, так и поперечные к простиранию складчатости, падающие под крутыми и пологими углами. Породы таких зон имеют черный цвет и содержат $C_{орг}$ в количествах от 1—2 до 3—5 %, реже 10 % и более. Отложение свободного углерода происходило одновременно с деформацией и интенсифицировалось на участках наибольшего дробления, при этом породы превращались в тонкочешуйчатые углеродистые динамосланцы, своеобразные углеродистые катаклазиты и бластомилониты.

Углеродистое вещество по данным рентгеноструктурного и термографического анализов представлено графитом, шунгитом, антраксолитом и керитом *. Как и в технологических процессах и экспериментах, оно является продуктом поликонденсации углеводородных газов, причем роль природных катализаторов, очевидно, играют милониты и бластомилониты алюмосиликатных пород. Углеродистое вещество начинает кристаллизоваться совместно со стебельчато-волокнистым серицитом II сначала в виде субмикроскопических шнурков по плоскости сланцеватости, зонкам скольжения и милонитизации; затем оно как бы пропитывает все милонитизированные участки породы и межзерновые пространства. Одновременно с углеродистым веществом нередко отлагаются железисто-магнезиальные карбонаты, рассеянные пылевидные сульфиды железа и мышьяка, а также интерметаллиды.

При углеродистом метасоматозе пород происходит привнос тяжелых металлов — меди, никеля, кобальта, цинка, свинца, а также золота — в количествах, превышающих кларк на один-два порядка и более. Причем проведенное электронно-микроскопическое и нейтронно-активационное изучение различных углеродистых веществ показало, что золото в них присутствует как в тонкодисперсном самородном состоянии, так и в битумоидах (в основном в битумоиде А, растворимом в бензоле) в количествах от десятых долей грамма до нескольких десятков граммов на тонну битумоида. Золото здесь находится, по-видимому, не в свободном состоянии, а в виде соединений с углеродом, так как экстрагируется органическими растворителями вместе с битумоидами.

Метасоматическое отложение в катаклазитах по алевропелитам углеродистого вещества в количествах более 2—3 % обусловливает «вынужденную подвижность» кремнекислоты, что наблюдается и при формировании метасом углерод-пиритового и углерод-сидеритового состава. Вначале вытесняемый кварц кристаллизуется в виде стебельчато-волокнистых кайм вокруг сплошных скоплений углеродистого вещества и зерен сульфидов, а затем переотлагается в виде прожилковых выделений, которые, группируясь, образуют секущие микропрожилки и микроштокверки; одновременно отлагаются сульфиды II в виде зернистых агрегатов. При метасоматическом отложении углеродистого вещества в количествах более 3—5 % общее коли-

* За пределами таких тектонических зон в [illegible]садочном цементе слабодислоцированных ар[illegible]иллитов и алевролитов иногда также присут[illegible]твует тонкорассеянное углеродистое вещест[illegible]о, однако количество его невелико — обычно [illegible]оли процента. Время появления и природа [illegible]ановой углеродистости проблематичны. Не [illegible]ключено, что оно частично первично-оса[illegible]очное, частично наложенное на пелиты при [illegible]спидной ступени их метаморфизма.

чество обособленного жильного кварца достигает 20—30 % от объема породы.

Штокверки такого происхождения местами хорошо изучены и разведаны. Поэтому следует выделять эту золото-углеродисто-кварцевую рудную формацию и сопутствующие, обычно весьма обширные зоны рассеянной золотоносности и сульфидизации в качестве ранних (догранитных) образований, возникших при воздействии на породы сильно восстановленных флюидов [6]. Эти флюиды на участках интенсивных взаимодействий (в зонах катаклазитов и милонитов) постепенно окисляются, что приводит к образованию воды и углекислоты, подвижности щелочей и кремнекислоты [5]. Поэтому к концу первого этапа процесс углеродистого метасоматоза закономерно перерастает в интенсивное кварцевое жилообразование. Этим и объясняется неизменное присутствие во всех углеродистых черных сланцах и каталаклазитах обильных кварцевых прожилков и жил. Однако полного окисления флюидов в это время еще не происходит, что доказывается сосуществованием обильного углеродистого вещества с возникшим в системе щелочно-кремнистым флюидом. В этих условиях золото могло мигрировать в виде легколетучих восстановленных соединений, устойчивых с углеводородами, т. е. в металлорганической форме, в которых атомы золота непосредственно связаны с углеродом.

Известно, что золото обладает большой энергией ионизации и сублимации, в связи с чем у него ярко выражена тенденция к проявлению ковалентной связи с различными лигандами, а также к образованию внутрикомплексных соединений. Поэтому неорганические соединения с Au^{+} и Au^{3+} в присутствии органических веществ, с которыми золото может давать комплексные соединения, превращаются в металлоорганические. Примером такого превращения может служить реакция Хароша — прямого аурирования хлорида золота ароматическим углеводородом с образованием фенил-хлораурата по формуле: $AuCl_3+C_6H_6=C_6H_5AuCl_2+HCl$. По разнообразию и прочности связи с органическими лигандами золото значительно превосходит свои электронные аналоги — серебро и медь, а также все переходны элементы (кроме платины).

Способность золота образовывать углеродом устойчивые соединения ш роко используется в аналитической х мии и гидрометаллургическом прои водстве, когда в качестве экстрагент золота применяют серу, фосфор,- кислородсодержащие органически растворители, которые обеспечиваю высокое извлечение металла [2]. сущности, по этой же причине не во ная, насыщенная различными солям фаза, ассоциирующая с нефтью, а с ма нефть с ее сложным углеводоро ным составом и с различными гетер атомными соединениями приобрета способность растворять тяжелые м таллы, включая золото. При нагрев нии такой нефти бо́льшая часть зол та возгоняется со среднетемперату ной фракцией углеводородов (300- 400°), что и лежит в основе запатент ванного в США способа извлечен золота из битуминозных сланцев нефтей. Высокой степенью летучес органических соединений золота об ясняется и тот факт, что зольный ост ток нефтей, сжигаемых даже в «мя ких» условиях, обычно содержит мен ше золота, чем исходная сырая нефт

Таким образом, повсеместная вы кая специализация на золото зон уг родистого метасоматоза объясняет повышенной геохимической подви ностью золота в резко восстановл ной обстановке; что касается осн ных сопутствующих элементов — се и мышьяка — то и они, обладая с собностью входить в состав сложн гетероциклических комплексов, хо шо «вписываются» в металлоорга ческую форму переноса золота.

Подкисление флюида и конденса его углеводородных компонентов, о ч свидетельствует интенсивное выпа ние кварца и керита, служит, види основной причиной распада метал органических комплексов и отложен золота. Большая часть его вмест кварцем и сульфидами выпадает тонкодисперсном самородном сост нии, а незначительная — «консерви ется» в углеродистом веществе в в металлоорганических соединений.

Однако главная масса золота, т. в виде руд, отлагается на втором э

пе процесса, когда за счет двух-трехстадийной метасоматической переработки сульфидизированных углеродистых пород происходит многоступенчатая концентрация золота [1].

Процесс перекристаллизации углеродистых пород, окисления углеродистого вещества, обособления гранобластового кварца захватывает бо ше объемы пород и постепенно пер растает в образование кварц-карбо нат-серицитовых и кварц-серицитовых метасоматитов с пиритом, арсенопиритом и золотом. Заканчивается процесс формированием кварцевых и кварц-карбонатных жил выполнения, часто с сульфидами и золотом. На глубоких горизонтах количество кварцевых жил и их мощность уменьшаются, а в составе ранних метасоматитов местами появляются полевые шпаты, мусковит, флогопит и другие более высокотемпературные минералы. Дайки кислых пород превращаются в типичные сульфидизированные березиты, а диориты, диоритовые и диабазовые порфириты подвергаются карбонат-хлорит-серицитовому замещению.

Все это свидетельствует о том, что а втором этапе минералообразования происходит значительное окисление флюида и повышение в нем активности щелочей, воды и углекислоты. региональном плане геохимическая инверсия флюидного режима во времени, видимо, отвечает периоду формирования крупных гранитоидных плутонов (очагов гранитизации), устанавливаемых геолого-геофизическими методами на глубине 2—3 км и более под тими рудными полями или, чаще, на х флангах.

Углеродистое вещество на втором тапе геохимически несовместимо с минеральными парагенезисами, возникшими при повышенном парциальном давлении кислорода, а поэтому кисляется, причем породы могут частично или полностью утрачивать черный цвет. Однако чаще минерализация позднего этапа пространственно переплетается с реликтовыми углеродистыми породами, и тогда в зальбандах жил и прожилков в переходных режимах возникает до 3—5 генераций разновидностей углеродистых веществ. Местами устанавливаются до ех структурных разновидностей графита, блочный антраксолит двух генераций и керит цепочечной структуры, который в количественном отношении преобладает над другими разновидностями углеродистых веществ. Специальные исследования показали, что с приближением к рудным телам меняется коэффициент восстановленности углерода ($C_{орг}/C_{карб}$), в интегральной форме отражающий основные физико-химические особенности развития рудного процесса [8].

При наложении минерализации второго этапа изменяется и элементарный состав углеродистых веществ. Наиболее важным представляется заметное увеличение в них роли азота. Сравнение данных хроматографического анализа газово-жидких включений в кварце показывает, что от первого ко второму этапу минералообразования происходит увеличение водонасыщенности (с 440 до 700 мкг/г), SiO_2 и концентрации углекислоты (с 65 до 230 г/кг) и азота (с 60 до 100 г/кг H_2O). По данным инфракрасной спектроскопии в керогене и битумоидах руд отмечается большое количество C—N связей.

Все это указывает на появление в составе рудного флюида, наряду с повышенным содержанием воды и углекислоты, и цианидов. Такой специфический по составу флюид, очевидно, должен обладать свойствами избирательного экстрагирования рассеянного в породах золота. Известно, что именно в цианидных водных растворах золото в последовательном ряду напряжений металлов занимает место перед серебром, оловом, железом и другими металлами. Поэтому в гидрометаллургии для извлечения из руд золота широко используются растворы цианистых солей щелочных металлов, причем избирательной способностью растворять только благородные металлы обладают слабые по концентрации растворы цианидов. С ростом концентрации последних в раствор последовательно переходят сначала цветные, а затем и редкие металлы *.

Таким образом, допущение участия в гидротермальном процессе цианидов

* При гидрометаллургическом извлечении золота из руд концентрация KCN в водном растворе должна быть 0,05 %, серебра 0,15 %, а других металлов 0,3 % и более.

дает удовлетворительное объяснение как специализации растворов на золото, создающих минерализацию пород в больших объемах, так и вертикальной зональности в размещении металлов на месторождениях. Как видим, механизм таких явлений прост и определяется лишь степенью концентрации цианидов в растворах. Однако возникает главный вопрос — в каких природных условиях могли возникнуть специфические цианистые растворы и как увязываются эти условия с реальными обстановками нахождения в природе вкрапленно-прожилковых и кварцевожильных месторождений золота в углеродистых зонах?

Выше показано, что необходимые для цианидов компоненты в рудах второго этапа присутствуют. Но минеральные парагенезисы еще не дают ответа на этот вопрос, так как значения $P-T$ параметров процесса рудоотложения явно недостаточны для синтеза синильной кислоты и ее производных; их синтез происходит при температурах 800—1200 °С в восстановительной обстановке, причем катализаторами служат алюмосиликаты и окислы металлов [10]. При высокой температуре в присутствии щелочей образуются и цианиды щелочных металлов, которые, как и синильная кислота, обладают высокой летучестью, способностью в любых соотношениях растворяться в воде и органических растворителях.

Рассмотренные условия синтеза цианидов, очевидно, могут реализовываться в очагах гранитизации углеродистых пород, где будут существовать необходимые $P-T$ условия, присутствовать природные катализаторы и необходимые химические компоненты.

Построение глубинных геолого-геофизических моделей показывает, что корни золоторудных полей отвечают участкам сопряжения глубинных разломов, контролирующих развитие зон углеродистого метасоматоза первого этапа, с очагами гранитизации на глубине. Такие особенности глубинного строения рудных районов типичны для рассматриваемого специфического золотого оруденения. Поэтому мы предполагаем, что природные области генерации цианидов по аналогии с пирометаллургическим доменным производством и технологией коксохимического производства [1] располагаются в тех частях очагов палингенеза, где фронт гранитизации наступает на терригенные породы, подвергающиеся предбатолитовый этап интенсивного углеродистому метасоматозу под воздействием мантийного потока восстановленных флюидов.

Восстающее движение газов, проникающих над очагами гранитизации, более холодные породы, и их прогрессирующее окисление неизбежно приводят в терригенных толщах к возникновению водных растворов щелочных цианидов, активно и избирательно экстрагирующих металлы. При промывании такими растворами больших масс пород, содержащих рассеянное золото, происходит его экстрагирование и последующее отложение в рудолокализующих структурах. Основной формы миграции золота и серебра в таких растворах могли быть комплексные ионы типа $Au(CN)_2^-$ и $Ag(CN)_2^-$.

Поскольку щелочные цианиды представляют собой соли сильных оснований и слабой кислоты, их водные растворы обладают щелочной восстановительной реакцией, а возникающие в их основе комплексные соединения тяжелых металлов в этих условиях приобретают повышенную устойчивость. При этом щелочные компоненты защищают цианистые соли от разложения под влиянием углекислоты и других кислот.

Другие металлы, сопутствующие золоту и серебру и присутствующие в рассматриваемых месторождениях, могли мигрировать как в цианистых так и в тио- и гидросульфидной формах, поскольку поля устойчивости этих соединений в pH — Eh координатах перекрываются [11]. Отложение металлов происходило по мере снижения активности цианистых комплексов во флюиде за счет понижения его температуры, роста кислотности и обогащенности в системе, а также вскипания растворителя в трещиноватых пористых породах.

Меняющиеся на месторождениях соотношения вкрапленной метасоматической, тонкопрожилковой и собственно жильной минерализации, количественные вариации тонкодисперсных сульфидов железа и мышьяка, свободного в сульфидах золота, другие особенности руд отражают соотношения процессов первого и второго этапов, а также сложную эволюцию минерализующей среды.

Предлагаемая новая петрологическая модель формирования золоторудных месторождений в углеродистых породах нацеливает на изучение некоторых конкретных вопросов, которым раньше уделялось недостаточно внимания. Назовем важнейшие из них.

При разработке классификации золоторудных формаций необходимо различать их гетерогенные ряды. Месторождения в углеродистых терригенных породах в сущности представляют собой особый формационный и генетический ряд мантийно-коровых образований. Их классификация, как и разработка поисково-оценочных критериев, должны строиться с учетом не только тектонических, магматических других факторов, но и конкретного своеобразия, полноты проявления и характера соотношений процессов первого (мантийного) и второго (существенно корового) этапов минерализации и сопутствующих им добатолитовых даек среднего — основного состава более позднего гранитного магматизма. Подготовительный этап формирования крупных полигенных месторождений связан с деятельностью добатолитовых ювенильных (интрателлурических) флюидов; на этом же этапе формируется основная масса геохимических аномалий золота и мелких его проявлений.

При геологическом картировании углеродистых терригенных толщ, обычно «немых» и лишенных маркирующих горизонтов, а также при детальном исследовании рудных полей необходима специализация всей геолого-петрографической и минералого-геохимической работы для обеспечения:

а) выделения зон динамометаморфизма и углеродистости (а также карбонатизации, рассеянной сульфидизации) пород разной интенсивности (3—5 градаций);

б) целевого определения уровней металлоносности этих зон (а также залежей сидеритов, магнезитов, доломитов и других сопутствующих метасоматитов) и разбраковки на этой основе геохимических аномалий;

в) выделения и картирования специфических разломов с черными катаклазитами и милонитами, контролировавшими процессы отложения УВ и металлизации первого этапа, количественной оценки масштабов обособления жильного кварца и штокверкообразования в связи с интенсивностью углеродистого метасоматизма, а также рассеянных в этих зонах металлов (3—5 градаций).

Объемное картирование рудных полей (с целью оценки флангов, глубоких горизонтов и решения других задач) должно быть ориентировано не только на отстройку структурных элементов, но и на реконструкцию геометрии и внутреннего строения ореолов метасоматоза и минерализации первого и второго этапов с выделением соответствующих типов, сортов руд и обоснованием их прогнозных контуров.

В итоге авторы приходят к выводу о специфических формах миграции золота при формировании метасоматических месторождений его в углеродистых осадочно-метаморфических породах. На раннем этапе углеродистого метасоматоза и сульфидизации пород золото мигрирует в форме легколетучих металлоорганических соединений, распадающихся при нарастающем окислении восстановленных флюидов. На позднем этапе при окислительной инверсии флюидов и формировании гранитоидных плутонов основной формой переноса золота являются комплексные цианистые соединения. Последние образуются вследствие наступления фронта гранитизации на сульфидизированные углеродистые породы с высокой фоновой золотоносностью. С появлением в системе водных растворов щелочных цианидов авторы связывают избирательное экстрагирование рассеянных в углеродистых породах металлов, их дифференциацию и последующую концентрацию благородных металлов в рудолокализующих структурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бобков С. С., Смирнов К. С.* Синильная кислота. М., Химия, 1970.
2. *Бусев А. И., Иванов В. М.* Аналитическая химия золота. М., Наука, 1973.
3. *Виноградов А. П.* Введение в геохимию океана. М., Наука, 1967.

4. *Звягинцев О. Е.* Геохимия золота. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941.
5. *Иванкин П. Ф., Иншин П. В.* О взаимосвязи углерода и воды в петрогенезисе.— Сов. геология, № 1, 1977, с. 35—46.
6. *Иванкин П. Ф., Назарова Н. И.* Геолого-геохимические закономерности формирования рудного поля золото-углеродистой формации и поисковые критерии. — В кн.: Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Т. 5. М., 1982, с. 35—40. (Тезисы докладов к III Всесоюз. совещ.).
7. *Иванкин П. Ф., Назарова Н. И.* Проблема восстановительного метасоматоза. — В кн.: Метасоматизм и рудообразование. М., Наука, 1984, с. 115—122.
8. *Иншин П. В., Абаулина Л. И., Царев В. В.* О поведении углерода при формировании золоторудных месторождений в терригенных «черносланцевых» толщах. — Докл. АН СССР, 1983, т. 269, № 5, с. 1156—1158.
9. *Лейбович Р. Е.* Технология коксохимического производства. М., Металлургия, 1966.
10. *Основные* результаты и пути повышения эффективности геохимических работ на золоторудных полях Западного Узбекиста П. Ф. Иванкин, Е. В. Янишевск Р. В. Цой и др. — В кн.: Геохимические тоды поисков месторождений полезных копаемых. Т. 7. М., 1982, с. 88—90. (Те сы докладов к III Всесоюз. совещ.).
11. *Павлов А. Л., Павлова Л. И.* Элеме термодинамического поведения золота процессе рудообразования. — В кн.: Физ и физико-химия рудообразующих про сов. Новосибирск, Наука, 1971, с. 12 147.
12. *Тюрин Н. Г., Каковский И. А.* Исследо ние поведения золота и серебра в триос фатных растворах при повышенных те ратурах и давлениях. М., изд. ЦНИИц мет., 1959.
13. *Щербина В. В.* Значение форм пере химических элементов в образовании ру Геология рудных месторождений, 1 № 5, с. 3—11.
14. *Cloke P. L., Kelly W. C.* Solubility of g under inorganic supergene conductio Econ. Geol., 1964, v. 59, N 2, p. 259—
15. *Krauskopf K. B.* The solubility of gol Econ. Geol., 1951, v. 46, N 8, p. 858—

СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

УДК 551.763.02(470.5+571.1)

Г. Н. ПАПУЛОВ, И. С. ЭДИГЕР (Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР)

Корреляция меловых отложений Урала и Западно-Сибирской плиты

В середине триасового периода произошло закрытие Уральского краевого прогиба, завершившее орогенный этап развития Уральской геосинклинальной системы. На границе материковых глыб Европы и Азии возникла молодая эпиварисская платфор прочно причлененная на западе к Е точно-Европейской, относительно торой Уральское орогенное соору ние в позднем мезозое гипсометри ски существенно не возвышалось. этому снос с Урала в западном правлении практически отсутство (рис. 1).

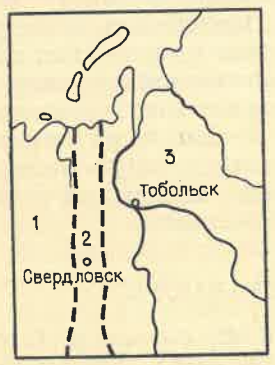


Рис. 1. Схема районирования изученной территории
1 — Восточно-Европейская платформа; 2 — Урал; 3 — Западно-Сибирская плита

Восточное сочленение мол Уральской платформы было моб ным. Здесь в Зауральской структу фациальной зоне шло непрерывно интенсивное накопление осадков счет сноса с Урала), начиная с и до голоцена включительно. По янное погружение Западно-Сибир плиты (ЗСП) обусловливало в ние всего позднего мезозоя и в нем кайнозое распространение н территории формаций эпиконти тальных морских бассейнов и акк лятивных аллювиальных равнин,

а как Уральская молодая платформа служила преимущественно областью денудации. Осадки накапливались лишь на ограниченных участках в розионно-тектонических депрессиях. Представлены они фациями речных долин и озерных котловин, сохранившихся до настоящего времени в виде более или менее протяженных фрагментов.

На территории ЗСП меловые отложения погружены на значительную глубину и перекрыты образованиями кайнозоя суммарной мощностью 150—00 м. К началу разбуривания этого потенциально нефтегазоносного бассейна его строение, исключая верхние горизонты кайнозоя, было неизвестно. Существовавшая к тому времени схема стратиграфии мела Уральского региона принималась за основу при стратификации разрезов Западно-Сибирской провинции.

В дальнейшем благодаря тщательному изучению мезозойских образований ЗСП, содержащих морскую фауну, удалось значительно уточнить дировку и континентальных образований мела Уральской молодой платформы. Несмотря на различия в фациальном составе разрезов двух сопредельных регионов и в их палеонтологической характеристике, хорошая насыщенность отложений спорами и пыльцой позволила достаточно уверенно коррелировать эти два типа разрезов.

В основании верхнего структурного этажа Западно-Сибирской плиты и Уральской молодой платформы залегает серия континентальных угленосных образований. В Западной Сибири они относятся к тюменской серии, на Приполярном Урале выделяются под названием тольинской и оторьинской свит, на Среднем Урале — лангурской, на Южном Урале — орской серии. Указанные отложения сохранились в депрессиях, протягивающихся вдоль всего восточного склона Урала. Осадки названных серий и свит в обоих регионах по комплексам палинофлоры, а на Урале также и по находкам листовой флоры датируются ранней—средней юрой [4, 8, 12].

С поздней юры (келловей) на территории ЗСП установился режим отмытого эпиконтинентального моря, устойчиво сохранявшийся до середины готеривского века. Здесь представлены все ярусы верхней юры, а также берриасский, валанжинский и нижняя половина готеривского яруса нижнего мела. Хорошая насыщенность пород фауной морских организмов, в частности, аммонитов, позволяет производить их дробное биостратиграфическое расчленение вплоть до выделения зон [12]. Наряду с морской биотой, отложения полно охарактеризованы также спорами и пыльцой наземных растений. Средняя их мощность порядка 700 м.

Позднеюрско-неокомский бассейн ЗСП выполнен обломочными породами кварцево-глауконитовой формации. В его центральной части на стратиграфическом уровне от среднего подъяруса волжского яруса до низов готерива выделяется своеобразная толща битуминозных, темноокрашенных сапропелевых глинисто-кремнистых образований. Они известны под названием баженовской свиты, осадки которой приурочены к наиболее глубокой части бассейна.

Отложения, коррелятные этой части разреза по палинофлоре, удается установить среди фаций древней речной сети в южной половине восточного склона Урала. Здесь в основании мела вскрывается пестроцветная песчано-глинистая толща с линзовидными прослоями гравелита общей мощностью до 150 м, «врезанная» в виде узких полос в породы палеозойского фундамента.

Из прослоев сероцветных глин, заключенных в нижней части толщи, извлечены достаточно представительные палинокомплексы, в которых доминирует пыльца рода *Classopollis*, отмечается высокое содержание пыльцы *Ginkgocycadophytus*, постоянно присутствуют *Quadraeculina limbata* Mal., *Caytonipollenites pollidus* (Reiss.) Coup. Велика роль хвойных *Pseudopicea variabiliformis* Bolch., *Pseudopicea magnifica* Bolch., *Podocarpus inica* Bolch., *P. lunata* Bolch., встречаются единичные зерна *Sciadopitys*. В споровом спектре комплекса существенное значение имеют *Densoisporites velatus* Weyl. et Krieg., *Cyathidites minor* Coup., *Cyathidites junctus* (K.-M),

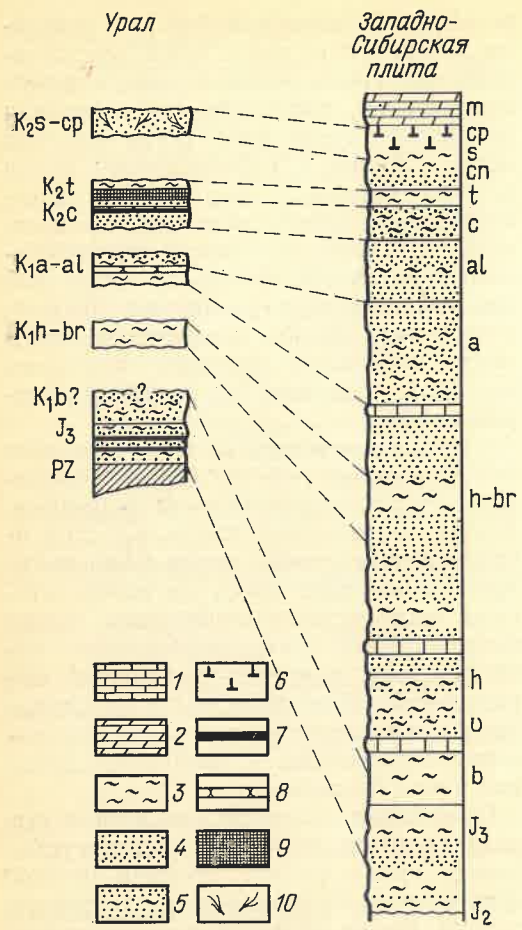


Рис. 2. Сопоставление меловых континентальных отложений Урала с морскими отложениями Западно-Сибирской плиты

1 — известняк; *2* — мергель; *3* — глина; *4* — песок и алеврит; *5* — глина песчанистая; *6* — опока; *7* — лигнит; *8* — аллит; *9* — оолитовая железная руда; *10* — растительные остатки

Coniopteris, Klukisporites, Eboracea, Gleicheniidites.

По составу палинофлоры рассматриваемые образования достаточно уверенно коррелируются с осадками позднеюрского морского бассейна ЗСП (рис. 2). По-видимому, формирование палинокомплексов из отложений позднеюрско-берриасского бассейна западной части соседнего региона происходило в значительной степени за счет пыльцы и спор растений, произраставших на суше.

В валанжинских и нижнеготеривских палинокомплексах ЗСП еще присутствует большое количество элементов юрской палинофлоры, но по сравнению с позднеюрскими и берриасскими комплексами снижается роль пыльцы *Classopollis,* отмечается пыльца двухмешковых хвойных, появляются споры схизейных папоротников. Прямые аналоги образований этого стратиграфического уровня в разрезах Урала не найдены. Возможно, соответствует часть существенно красноцветных пород, перекрывающих слои с *Classopollis,* в которых фоссилии практически отсутствуют [5].

Фации открытого моря в неокоме ЗСП прослеживаются до середины готерива (до зоны Speetoniceras versicolor включительно). Залегающая выше мощная (до 2000 м в северной части плиты) толща терригенных образований не содержит остатков ортостратиграфических групп фауны, и геологический возраст в интервале поздний готерив—баррем (на севере плиты готерив—апт) определяется в значительной мере условно, главным образом по положению в разрезе.

Толща представлена преимущественно алевролитами, участками чередующимися песчаниками, которые реслаиваются с глинами. Изредка встречаются прослои глинистых известняков, иногда глинистых сидеритов. Литологический состав толщи выдержан по простиранию на большом расстоянии. В ее нижней, в неготеривской части коррелирующее значение для данного седиментационного бассейна имеют прослои глин, содержащие бентосные фораминиферы ассоциации *Trochammina giroidinamis.* В местной стратиграфической шкале этому интервалу разреза соответствует ряд свит — леушинская, фроловская в южной части ЗСП и верососьвинская, танопчинская — в северной.

Осадки перечисленных свит накапливались в обширном водном бассейне, имевшем затрудненное сообщение с Арктическим океаном и несущим признаки значительного опреснения. Наиболее интенсивное поступление терригенного материала в этот бассейн происходило с востока и северо-востока. Однако в приуральской части ЗСП устанавливаются и западные (уральские) источники сноса. Максимальную мощность (до 1000—1200 м) отложения указанной части разреза имеют на севере плиты, в районе распространения танопчинской свиты, которой свойственны все черты дельтовых образований.

При почти полном отсутствии палеонтологических остатков рассматриваемая часть разреза, датируемая поздним готеривом — аптом, достаточно обильно насыщена спорами и пыльцой растений, что позволяет успешно коррелировать ее на обширной территории ЗСП. В палинофлоре доминируют споры сем. Schizaeaceae при руководящем значении рода *Ligodium,* возрастает роль спор сем. Gleicheniaceae, отмечаются разнообразные споры плаунов. Среди голосеменных наряду с двухмешковой пыльцой присутствуют реликты юрской флоры (*Ginkgocycadophytus*).

Близкую палинологическую характеристику имеют глинистые породы изолированных депрессий и карстовых полостей на восточном склоне Урала, выделяемые под названием тыньинской свиты (мощность до 75 м). В палинокомплексах этой части разреза преобладают споры папоротников, среди которых обнаружены представители сем. Schizaeaceae с доминирующим родом *Lygodium.*

Для комплексов северных районов как Урала, так и ЗСП характерно наличие формального рода *Pilosisporites,* встречаются также *Lygodium splendidum* K.-M., *L. mirabile* Bolch., *L. subsimplex* (Naum.) Bolch., *L. crossetuberculatum* Bolch. Значительного видового разнообразия достигают глейхениевые, присутствуют споры плаунов *Coniopteris, Leiotriletes.* Хвойные представлены несколькими видами *Podocarpus, Picea,* отмечается единичная пыльца *Classopollis.*

Выше по разрезу на территории ЗСП залегает серия глинисто-песчаных пород, слагавших обширную аллювиально-озерную равнину. В них содержатся бедные ассоциации бентосных фораминифер. Эти породы общей мощностью 300—500 м, в которых по местной шкале выделяются кошайская и викуловская свиты, насыщены палинофлорой, включающей два типа комплексов — «споровый» с доминированием рода *Gleicheniidites* и «пыльцевой» с преобладанием пыльцы голосеменных растений. Подчиненную роль в них играют сем. Schizaeaceae с родами *Lygodium* — *L. ornatum* Eiv., *L. triangulatum* Eiv., *Anemia* — *A. macrorhyza* (Mal.) Bolch., *A. exilioides* (Mal.) Bolch., *Cicatricosisporites.* Обязательно присутствуют представители семейств Osmundaceae, Cyatheaceae, Dicksoniaceae, Sphagnumsporites. Во втором типе комплексов ведущая роль принадлежит пыльце голосеменных растений, в которых доминируют *Picea, Pinus.* Существенное значение приобретает сем. Taxodiaceae, постоянно отмечается пыльца сем. Ginkgoaceae, единично — *Podocarpus, Sciadopitys.*

Геологический возраст толщи определяется ее положением в разрезе, а также путем корреляции по палинофлоре с каолиновыми огнеупорными глинами восточного склона Урала. Из последних еще со времени исследований А. Н. Криштофовича и В. Д. Принады известна флора папоротников и хвойных *Asplenium* cf. *dicsonianum* Heer, *Gleichenia cycadina* Schenk., *Cladophlebis* sp., *Sphenopteris* ex gr. *goeppertii* (Dunk.) Schenk., cf. *Sphenolepis sternbergiana* (Dunk.) Schenk. Наиболее вероятный возраст флоры аптский [1, 5].

Комплексы спор и пыльцы, содержащиеся в глинах, аналогичны представителям палинофлоры западносибирских коррелятных отложений, причем преобладание типа с доминированием спор глейхениевых более отчетливо. В ориктоценозах, где господствуют голосеменные растения, ведущая роль принадлежит также пыльце *Picea,* характерно заметное присутствие зерен *Cedrus.* В комплексах данного стратиграфического уровня в обоих регионах впервые появляются единичные зерна пыльцы *Angiospermae* примитивного строения.

В Зауралье в разрезах скважин широтных профилей удается непосредственно проследить постепенную смену палеофитоценозов двух типов разрезов — уральского и западносибирского [6]. Характерные породы викуловской свиты Западной Сибири и синарской Урала, представляющие собой образования формации гумидных угленосных равнин, с трудом распознаются в зоне сочленения площадей распространения этих свит.

Следующий более высокий стратиграфический уровень разреза ЗСП соответствует новой бореальной трансгрессии. Алевритистые глины мощностью до 200—250 м в нижней половине содержат фауну аммонитов из группы *Cleoniceras (Vnigricerás sinzovi* Saw.) и иноцерамов (из группы *I. anglicus* Park.), что позволяет датировать отложения ранним — средним альбом. По ассоциациям форминифер с *Ammobaculites fragmentarius* и *Verneuilinoides borealis* отложения, выделяемые под названием ханты-мансийской свиты, хорошо коррелируются с нижней половиной серии нанусук (Nanushuk group) Северной Аляски — формациями Tuktu, Topagoruk, Grandstend [13].

Осадки альбской морской трансгрессии по составу палинокомплексов удается сопоставить с верхней частью пачки, включающей упомянутые выше каолиновые огнеупорные глины Урала, в которых содержатся залежи аллитов, охарактеризованные растительными остатками. Приведем их сводный список — *Matonidium goeppertii* (Schimp.) Schenk., *Cyparissidium gracile* Heer, *Cladophlebis browniana* (Dunk.) Sew., *Gleichenia rotula* Heer, *Sequoia subulata* Heer, *Dictyophillum* sp. По заключению изучавших эту флору А. Н. Криштофовича и В. А. Вахрамеева, она относится, скорее всего, к среднему альбу [1].

Палинокомплексы указанной части разрезов Западно-Сибирской плиты и Урала сходны с вышеописанными, в них по-прежнему доминируют споры глейхениевых — *Gleicheniidites senonicus* Ross., *G. carinatus* (Bolch.), Bolch., *Clavifera triplex* (Bolch.) Bolch., *Ornamentifera tuberculata* (Grig.) Bolch. Среди схизейных исчезают шиповатые формы *Lygodium*, сменяющиеся спорами с гладкой или бугорчатой экзиной,— *L. japoniciforme* E. Iv., *L. triangulatum* E. Iv. Отмечаются *Anemia unica* Mark., *A. perforata* Mark., *Cicatricosisporites minutaestriatus* (Bolch.) Pocock. В комплексах постоянно присутствуют споры семейств Osmundaceae, Polypodiaceae. Голосеменные представлены в основном сем. Pinaceae; характерно наличие *Cedrus (C. parvisaccata* Zauer, *C. pachyderma* Zauer), Taxodiaceae. Пыльца *Angiosperm* по-прежнему сравнительно малоч ленна и однообразна.

На Урале при геологическом кар ровании не удается расчленить а скую и альбскую части толщи као новых глин. Они выделяются нер члененными под названием синарс свиты, а их общая мощность не п вышает 80 м [10].

Следующая хорошо обосаблив щаяся часть западносибирского ра за — уватская свита — представл ритмичным переслаиванием тон слойков кварцевого алевролита и к линовой глины. Отложения свиты положению в разрезе считаются се манскими. Они залегают на поро ханты-мансийской свиты альбс возраста и перекрываются слоями нецовской свиты, охарактеризован ми фауной иноцерамов и комплекс фораминифер туронского яруса.

Уватская свита, видимо, являе образованием крупного опресненн водоема или серии водоемов, лишь роткое время сообщавшихся на се с акваторией Приполярного морс бассейна. На это указывает появле в верхней части свиты редких про ев с бедной фауной форамини Других фоссилий, кроме палино ры, не обнаружено. Мощность отл ний достигает 250 м.

Главная особенность компл спор и пыльцы из отложений уват свиты — постоянное и значител присутствие покрытосеменных р ний, относящихся к родам *Tripor lenites, Tricolpollenites, Tricolpor lenites*. Среди спор широко распр ранены схизейные — *Anemia m ryhza* (Mal.) Bolch., *A. perf* Mark., *A. exilioides* (Mal.) Bo *Lygodium japoniciforme* E. Iv., *C ricosisporites* spp. По-прежнему чаются *Gleicheniidites — G.* (Bolch.) Bolch., *G. seno* Ross, *G. umbonatus* (Bo Bolch. Устойчиво присутствуют нообразные виды *Sphagnumspori Sphagnumsporites psilatus* (R Coup., *S. antiquasporites* (Wi Webst.) Pot. Возрастает по нению с комплексами апта и участие папоротников Ophiog ceae, Polypodiaceae. Господству комплексе хвойные, главным обр

сновые — *Pinus*, в меньшей мере *edrus, Picea*. Много пыльцы сем. Таodiaceae, в качестве реликтов древней оры остается сем. Ginkgoaceae.

На Урале данному стратиграфичеому уровню с широко развитыми нисто-песчаными отложениями, соержащими прослои лигнита, соотствуют осадки системы небольших ер и водотоков, направленных к заносибирской аллювиальной равни. Эти отложения мощностью 60— м обосабливаются в качестве мыской свиты. Выделенный из них линокомплекс характеризуется такысоким содержанием пыльцы *Anspermae*, представленной однообзными трехбороздными и трехбоздно-поровыми зернами. Значительроль папоротников, среди которых обладают глейхениевые. Наряду с дами, встречающимися в комплексах нижележащих отложений, отмечеспоры *Gleichenites limbatus* Agr., *avifera rudis* Bolch. Заметное учаие принимают представители сеейств Schizaeaceae, Cyatheaceae, hioglossaceae, Polypodiaceae. Споры унов и мхов находятся в равных отношениях. Среди голосеменных минирует сем. Pinaceae, преимущеенно род *Cedrus* с разнообразными дами. Отмечается пыльца Taxodiae и *Sciadopitys*.

Палинологические комплексы уватой и мысовской свит имеют ряд обх черт. Количество спор глейхениерах велико, но меньше, чем в ранее омянутых толщах. Снижается роль зейных, отмечаются представители мейств Polypodiaceae и Ophioglosceae. Хвойные, часто составляющие ову комплекса, включают виды ро *Cedrus, Pinus*.

Для разрезов Урала типично повыное содержание зерен *Cedrus*, для адносибирских — обилие пыльцы Taxodiaceae. Характерными такми комплексов этого стратиграческого уровня как на Урале, так и Западно-Сибирской плите являют *Ophioglossum cenomanicum* lon., *Nephrolepis sibirica* Sku t., *Hamulatisporites hamulatus* utz., *Cedrus orbita* Botsch., *C. ireticulata* Zauer, *Pinus aralica* lch. Значительная роль в палинопе обоих регионов принадлежит пыльце *Angiospermae*, все еще не отличающейся видовым разнообразием.

Лигнитовые глины мысовской свиты богаты макромерными растительными остатками — папоротниками *Sellaginellites rugosa* Dorof., *S. laevis* Dorof., *Isoëtites lucida* Dorof., *Gleichenites* sp., многочисленной хвоей, шишками нескольких видов — *Sequia, Widdringtonites reichii* (Ett.) Heer, *Sciadopitys uralensis* Dorof. et Sweshn. Среди покрытосеменных растений разнообразны виды *Platanus, Eucalyptus, Magnolia alternans* Heer, *Aralia newberryi* Barry и др. Вся эта флора характерна для начала позднего мела [1, 5].

Трансгрессировавшие в начале турона воды бореального моря до конца мелового периода покрывали не только территорию ЗСП, но и значительную часть Уральского орогенного сооружения. Поэтому континентальные отложения послесеноманского возраста в регионе сохранились на ограниченных участках.

Нижнетуронские морские осадки ЗСП (зона Inoceramus labiatus) охарактеризованы в регионе ассоциацией фораминифер, включающей вид-индекс *Gaudryina filiformis*, и содержат обедненный палинокомплекс с многочисленными водными формами. Это вносило элемент условности в корреляцию их с комплексами прибрежно-морских образований Урала, состоящих из терригенных пород с прослоями сидерит-шамозитовых железняков оолитового строения (мугайская свита). Сомнения в правильности корреляции этих отложений по палинофлоре были устранены, когда в керне нескольких скважин среди пород мугайской свиты удалось обнаружить «языки» глин с раннетуронскими фораминиферами ассоциации *Gaudryina filiformis*. Палинологические комплексы мугайской свиты близки к таковым, содержащимся в подстилающих породах мысовской свиты.

Вышележащие осадки западносибирского седиментационного бассейна сенонского возраста представлены морскими существенно кремнисто-глинистыми образованиями с пачкой глинистых мергелей в верхней части. Их геологический возраст определяется по редким находкам раковин моллюс-

ков, главным образом иноцерамов, и соответствует коньякскому, сантонскому и кампанскому ярусам. В верхней карбонатной части разреза комплексы фауны, включающие раковины аммонитов и ростры белемнитов, позволяют уверенно выделять верхи кампанского и маастрихтский ярусы. Отложения сенонского этапа осадконакопления подразделяются на три региональных горизонта, каждый из которых по латерали расчленяется на ряд свит. Геологический возраст нижнего — ипатовского горизонта определяется в интервале коньяк—сантон (мощность 100—120 м), среднего славгородского соответствует кампану, возможно, также верхней части сантона (около 150 м), верхнего — маастрихту и самым верхам кампана (100—200 м).

Породы сенона ЗСП, являясь осадками открытого моря, сравнительно слабо насыщены спорами и пыльцой. С этим геологическим временем связан расцвет покрытосеменных растений, продуцирующих пыльцу своеобразного строения, которая служит надежным признаком для корреляции. Она объединена в крупный таксон формальной классификации — стемму Normapolles.

Б. Д. Заклинская, изучавшая эту палинофлору, указывает, что территория Уральской молодой платформы в сенонское время входила в состав Европейско-Туранской палеофлористической области, где была распространена пыльца *Normapolles*. Восточные берега западносибирского моря принадлежали Канадско-Сибирской области. Здесь преобладала пыльца *«Aquila»* — Proteaceae.

Соответствующие сенонским отложениям ЗСП континентальные образования на восточном склоне Урала почти неизвестны. Переуглубленные участки древней речной сети, отложения которых обнаружены при геологоразведочных работах в центральной части Уральского орогенного сооружения, до применения палинологического метода априорно считались третичными. Позднее полученные из пород обильные палинокомплексы с преобладанием пыльцы *Normapolles* позволили сопоставить их с морскими осадками приуральской части ЗСП сантон-кампанского времени. Эти ложения, выделенные под назван высокогорской свиты, представл толщей песчано-глинистых пор прослоями лигнита и кусочками я ря, их максимальная мощность 70 м. Отложения изучались в ра городов Тагила на Среднем Ура Пласта — на Южном [5].

В палинокомплексах, выделенны пород высокогорской свиты, домин ет пыльца покрытосеменных расте принадлежащая стемме Normap а также зерна, сходные с пыльцо временных семейств Myricaceae, taceae, Santalaceae. Споры и хво играют второстепенную роль. представлены таксонами, характе ми для комплексов позднемело времени.

Значение палеопалинологичес метода для корреляции разрезо предельных регионов с различно торией геологического развития но убедительно показать на при аятской свиты. Она распространен южной оконечности Уральской го системы, на восточном борту Ту ского прогиба и представляет пачку пород прибрежно-лагунного незиса, содержащую пласты сиде во-гётитовых железняков оолит строения.

Геологический возраст свиты деляется по ее залеганию выше нетуронских глин с фауной фо нифер ассоциации *Gaudryina mis*, свойственной кузнецовской ЗСП. Это послужило основание сопоставления обеих свит и отне их к турону. На восточном Урала возрастным аналогом а свиты считались оолитово-желе вые отложения мугайской толщ Однако уже в 1956 г. при соста стратиграфической схемы мезозо отложений к Первому совещан стратиграфии Сибири по нахож в породах аятской свиты пыль крытосеменных растений мо облика, определявшейся в то как род *Extratriporopollemites* можность возрастной корреляци ской и мугайской свит была по нута сомнению [9].

Позднее палинологами З. К. маренко, З. С. Паскарь, И. О. на основании материалов изучен инокомплексов аятской свиты неод кратно поднимался вопрос о необ димости сопоставлять отложения тской свиты не с мугайской и куз цовской свитами туронского возра а, а с более высокими частями раз за ЗСП, относящимся к славгород кому горизонту [5, 7].

В палинофлоре, полученной из аят ой свиты, доминирует пыльца голо менных растений с преобладанием сновых — *Pinus sect. cembrae* p a c h., *P. sect. banksia* M a y r., *Pi s aralica* B o l c h., *Cedrus (C. parvi ccata* S a u e r). Присутствуют пред авители сем. Podocarpaceae (*Dacry um, Dacrydiumites, Phyllocladus, Ta diaceae, Cupressaceae, Gnetaceae llenites*). Среди спор папоротников, ычных для палинокомплексов верх го мела, выделяется род *Hemitelia*. казателен спектр пыльцы покрыто менных растений, в нем устанавли ются представители стеммы Norma les, включающие разнообразные ды и виды — *Trudopollis conrector* l., *T. parvotrudens* P f l., *T. nonper tus* P f l., *Oculopollis* P f l., *Concavi llis* P f l., несколько видов рода *Va opollis, Gothanipollis* K r u t z. Часть льцевых зерен отнесена к семейст ыне живущих растений — Myri eae, Santalaceae, Araliaceae, Menis maceae. В палинокомплексах аят ой свиты присутствуют различные ставители микрофитопланктона.

Несмотря на результаты палинолоческого анализа, казалось бы, до точно убедительно свидетельствую е о неправомерности сопоставления времени процесса образования аят ой свиты с проявлением туронской нсгрессии, это делалось до послед о времени [10]. Надо думать, что обная традиция недооценки пали логических материалов будет уст ена, поскольку в 1982 г. в борту коловского железорудного карьера йон г. Кустаная) в основании ки пород аятской свиты была об ружена фауна пелеципод, включаю я *Inoceramus cardissoides* G o l d f., *pachtii* A r k h. — формы, характер для нижнего сантона [2].

Рассматривая проблему корреляции ловых отложений двух сопредель регионов, на одном из которых этот длительный этап развития господствовали ландшафты низменной, иногда средневысотной суши (Урал) и процессы денудации, а на другом при устойчивой тенденции к опусканию и аккумуляции осадков существовали обстановки морей шельфового типа или обширных аллювиально-озерных равнин с крупными опресненными водоемами (приуральская часть ЗСП), авторы статьи преследовали цель не только дать информацию о современном состоянии вопроса, но и показать широкие возможности палеопалинологического метода как для корреляции, так и для решения общих проблем региональной стратиграфии. Это практическая разработка ряда теоретических положений о методах корреляции разнофациальных отложений, содержащихся в известной монографии В. В. Меннера [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вахрамеев В. А.* Стратиграфия и ископаемая флора меловых отложений Западного Казахстана. Т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1952.
2. *Возраст* железорудной аятской свиты Тургайского прогиба/А. П. Левина, А. В. Лейпциг, З. С. Паскарь и др.— Докл. АН СССР, 1983, т. 270, № 3, с. 675—679.
3. *Меннер В. В.* Биостратиграфические основы сопоставления морских, лагунных и континентальных свит. М., Изд-во АН СССР, 1962.
4. *Палеозойские* и мезозойские флоры Евразии и фитогеография этого времени/ В. А. Вахрамеев, И. А. Добрускина, Е. Д. Заклинская, С. В. Мейен. М., Наука, 1970.
5. *Папулов Г. Н.* Меловые отложения Урала. М., Наука, 1974.
6. *Папулов Г. Н., Эдигер И. С.* Смена флор на рубеже раннего и позднего мела. — В кн.: Палинология мезофита. М., Наука, 1973, с. 158—161.
7. *Пономаренко З. К., Киселев Л. И., Кальменева А. Х.* Палеоландшафты и условия бокситонакопления в Западном Казахстане. — В кн.: Палинология Казахстана. Алма-Ата, Наука, 1976, с. 97—111.
8. *Ровнина Л. В.* Стратиграфическое расчленение континентальных отложений триаса и юры северо-запада Западно-Сибирской низменности. М., Наука, 1972.
9. *Стратиграфия* мезозойских и третичных отложений восточного склона Урала и Зауралья/И. А. Аграновская, А. И. Еремеева, Ф. В. Киприянова и др. — В кн.: Тр. Межвед. совещания по разработке унифицир. стратиграф. схем Сибири 1956 г. Л., Гостоптехиздат, 1957, с. 267—276.
10. *Унифицированные* и корреляционные стратиграфические схемы Урала. Ред. М. Г. Брейвель, Г. Н. Папулов, А. Н. Хо-

далевич. Свердловск, Изд. УНЦ АН СССР, 1980.
11. *Фальков Ю. Г.* Морские отложения меловой системы. — В кн.: Геология СССР. Т. XXXIV, кн. 1. М., Недра, 1971, с. 265—299.
12. *Фанерозой* Сибири. — В кн.: Мезозой. Т. 2. Ред. А. Л. Яншин. Новосибирск, 19 с. 54—79. (Тр. Ин-та геологии и геофи ки СО АН СССР, вып. 596).
13. *Tappan H.* Foraminifera from the Ar Slope of Alaska. — In: Cretaceous Fora nifera Geological survey professional. P Washington, 1962.

УДК 551.734.5(4-925.22-10)

Т. И. ФЕДОРОВА, В. М. ЩЕКОЧИХИНА
(Нижне-Волжский науч.-исслед. ин-т геологии и геофизики)

Новое в стратиграфии девона Саратовского Поволжья

На большей части территории Пачелмско-Саратовского авлакогена франский ярус заканчивается евлановско-ливенскими отложениями и без видимого перерыва перекрывается породами задонского горизонта нижнего фамена. Возраст этих подразделений верхнего девона и граница между ними подтверждены находками органических остатков на многих участках.

В районе Саратова (Елшанка, Трофимовка, Гуселка) светлые известняки евлановского и ливенского горизонтов с фораминиферами *Geinitzina reperta* Byk., *G. indigena* Byk., *Umbella nana* Reitl., *Thikhinella* sp., брахиоподами *Theodossia livnensis* Nal. и остракодами *Bairdia quarziana* Eg., *Acratia mayselae* Eg. контактируют с доломитизированными известняками задонского горизонта, содержащими типичные брахиоподы *Cyrtospirifer archiaci* (Murch.). Юго-западнее в пределах Каменско-Золотовской зоны поднятий на Топовской и Каменско-Золотовской площадях органогенно-обломочные известняки с брахиоподами *Chonepectus* cf. *elcicus* Nal., *Productella* cf. *koscharica* Sok., *Cyrtospirifer* cf. *archiaci* (Murch.), характерными для задонского горизонта, перекрывают светлые органогенно-обломочные известняки ливенского возраста с разнообразной фауной брахиопод *Theodossia livnensis* Nal., *Productella* cf. *evlanensis* Nal. и фораминифер *Nodosaria* cf. *evlanensis* (Lip.), *Geinitzina* cf. *devoniana* (Lip.), *Frondilina devexis* Byk., *Umbella* cf. *bella* Byk., с остракодами, строматопорами и водорослями. На Пограничной площади известняки задонского горизонта с *Cyrtospirifer archiaci* (Murch.) также контактируют с евлановско-ливенскими отложениями, заключающими фауну теодоссий.

Во всех указанных районах мощность евлановско-ливенских и задонских отложений большая, достигающая на западе Саратовской области 370 м (район Песковатки). В Заволжье, на Жигулевско-Пугачевском своде (район г. Пугачева) задонско-елецкие отложения представлены глинистыми известняками с многочисленной и разнообразной раннефаменской фауной простейших фораминифер, брахиопод и остракод. Мощность пород небольшая, около 40 м. Залегают они на 10-метровой пачке светлых евлановско-ливенских известняков с типичной для синхронных отложений Русской платформы фауной фораминифер (сем. Lagenidae), брахиопод (группа Theodossia) и представителей остракод, в основном рода *Bairdia*.

Во внешней бортовой зоне Прикаспий впадины на Западно-Ровенской площ вскрыт иной разрез, где в приконтакт франско-фаменской части впервые устано на новая, не известная на юго-востоке авл гена в Саратовском Поволжье, толща по Евлановско-ливенские отложения выде здесь на основании их корреляции с одно растными фаунистически охарактеризова ми отложениями (скв. 5, интервал 42 4340 м). Задонский горизонт представле вестняками светлыми, участками слоисты прослоями аргиллитов, карбонатных тонко стых. В плоскости наслоения обнаружены ничные раковины остракод — *Acratia an* Netch., *Rectella cultellata* Netch., *Ba* sp. и мелкие створки пелециподе *Posido* sp. (скв. 6, 4160—4050 м), подтвержда раннефаменский возраст пород. Между залегает 80-метровая толща терригенно бонатных образований. В ее нижней част пространены серый мергель и известков аргиллиты, в которых найдены един створки беззамковых брахиопод *Lingul* небольшого размера, редки ядра острако хой сохранности и немногочисленные спо том числе широкого вертикального распр нения (*Archaeozonotriletes basilaris* Nau

За последние годы на юго-западном с Каменско-Золотовской зоны поднятий в товской области на Гвардейской (скважи 2) и Шушенской (скв. 1) площадях во аналогичная толща (рис. 1), сложенная шей частью терригенными породами и держащая органических остатков (скв. 1 дейская, 3320—3420 м). Ранее [2] эта была описана в качестве аргиллитовой на Иловлинской площади (скв. 3, 2 2940 м)*. Она охарактеризована здесь лами и содержат на разных уровнях н делимые обломки раковин брахиопод и остракод.

По положению в разрезе указанные от ния сопоставлены нами с линевской т верхнефранского подъяруса в нижней ч с уметовской толщей фаменского яруса в ней, развитыми на юго-западе Пачелмс ратовского авлакогена в Волгоградской

* К сопоставлению фаменских отло сопредельной территории Северо-Запа Прикаспия/П. А. Карпов, М. Г. Кондр М. А. Нечаева и др.— Докл. АН СССР. т. 131, № 1, с. 157—160.

сти. Они содержат органические остатки (скв. 202 Гуселкинская) и по литолого-фациальным особенностям считаются образованиями компенсированной Линевско-Уметовской депрессии*. Мы также относим линевскую толщу к франскому, а уметовскую — к фаменскому ярусам. Выделены обе толщи условно, поскольку граница между ними и объем каждой из них органическими остатками не подтверждены.

Эти толщи широко развиты в юго-западных районах Саратовской области. Площадь их распространения достигает склонов Каменско-Золотовской зоны поднятий, где смыкается с полями развития одновозрастных отложений Волгоградского Правобережья (рис. 2).

Изучение разрезов верхнего девона позволило установить некоторые фациальные изменения по простиранию линевской и уметовской толщ. На Западно-Ровенской площади они терригенно-карбонатные, в западных районах повышается роль глинистого материала (Гвардейские, Гуселкинские скважины) и разрез становится почти полностью аргиллитовым в Иловле, где его мощность значительно возрастает. Возможно, на изученных площадях аргиллитовая толща развита в разных объемах.

В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Установлено распространение в Саратовском Поволжье аналогов линевской и уметовской толщ, ранее отмечавшихся лишь в разрезах Волгоградской области.

2. По присутствию на значительной площади в юго-западной части Пачелмско-Саратовского авлакогена линевской и уметовской толщ подтверждено мнение о существовании Линевско-Уметовской компенсированной депрессии в Саратовской области, о ее значительных протяженности и размерах.

3. Материалами проведенных исследований уточнена и дополнена региональная схема стратиграфии девона Пачелмско-Саратовского авлакогена.

4. На основании данных о распространении линевской и уметовской толщ можно контролировать наличие в изученном регионе зон формирования по бортам депрессии биоморфных пород франского и фаменского возраста, являющихся в Волгоградской области нефтегазоносными.

* Девонские отложения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции/М. М. Алиев, Г. П. Батанова, Р. О. Хачатрян и др. М., Недра, 1978.

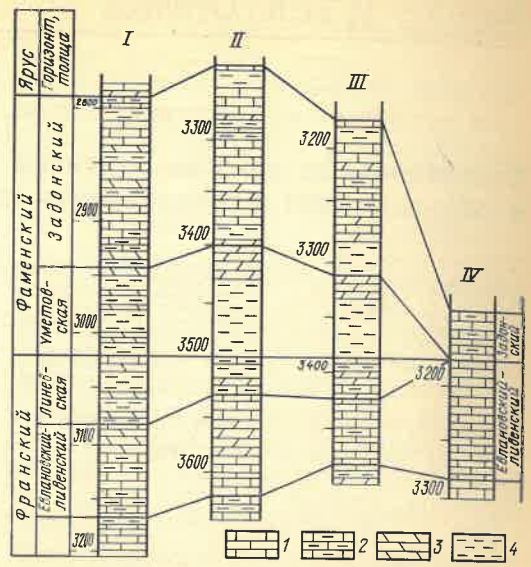


Рис. 1. Схема корреляции линевско-уметовской толщи

I — скв. 202 Гуселкинская, по Г. П. Батановой; *II* — скв. 1 Шушенская; *III* — скв. 1 Гвардейская; *IV* — скв. 9 Каменско-Золотовская; *1* — известняки; *2* — известняки глинистые; *3* — мергели; *4* — аргиллиты

Рис. 2. Распространение и мощности линевско-уметовской толщи в северо-западном обрамлении Прикаспийской впадины

1 — изопахиты, м; *2* — бортовой уступ впадины; *3* — установленная площадь распространения толщи в Саратовской области; *4* — скважина: в числителе — ее номер, в знаменателе — мощность толщи, м

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА

УДК 551.242 : 551.073.001.53

К. Б. СЕСЛАВИНСКИЙ (ГЕОХИ АН СССР)

Сопоставление режима развития платформ и обрамляющих их подвижных поясов

Связь колебательных движений платформ с развитием смежных с ними подвижных поясов известна уже давно. Однако вопросы о латеральных взаимоотношениях этих структур во времени и пространстве рассматривались в основном на примерах истории геологического развития отдельных регионов. Задача данной статьи состоит в том, чтобы путем сравнения эволюции осадочных бассейнов платформ с изменениями в развитии всех обрамляющих их подвижных поясов на основе количественного анализа литолого-палеогеографических карт континентов для эпох раннего и среднего палеозоя сформулировать наиболее общие закономерности латерального влияния мобильных тектонических режимов на стабильный платформенный режим.

Связь палеогеографии окраинных платформенных бассейнов с активностью соседних геосинклиналей была подмечена еще А. П. Карпинским. Позднее А. Д. Архангельский пришел к выводу об однозначности движений в этих структурах с некоторым запаздыванием трансгрессий на платформах по отношению к трансгрессиям в геосинклиналях. Такая закономерность рассматривалась в качестве «закона Архангельского».

Проблему количественного сравнительного анализа осадконакопления в платформенных и соседних геосинклинальных бассейнах поставили В. В. Белоусов и А. Б. Ронов более 40 лет назад. А. Б. Роновым проведено сравнение скоростей осадконакопления и состава отложений для герцинского и альпийского циклов развития Русской платформы и геосинклиналей соответственно Урала и Большого Кавказа [6]. Главный его вывод — правило запаздывания трансгрессий на платформе по сравнению со смежными геосинклиналями — впоследствии неоднократно подтверждался результатами анализа геологической истории зон перикратонных опусканий [3] и краевых прогибов [4]. В. Е. Хаин [12] показал, что «периоды возрастания подвижности (активизации) платформ совпадают с орогенными периодами геосинклинальных поясов» (с. 239). Ю. М. Пущаровский предложил выделять на платформах особый класс структур — резонансно-тектонические, развивавшиеся вследствие активного воздействия соседних геосинклинальных зон [5]. В. В. Белоусов раскрыл формы влияния на развитие древних платформ смежных геосинклиналей [1].

Список работ, подтверждающих существование латеральной связи в развитии платформ и подвижных структур [2, 14 и др.] или опровергающих ее [15, 16 и др.], можно продолжить. Но все они базируются на сравнительных данных, полученных при геологических обобщениях. Только в исследовании А. Б. Ронова главный инструмент — число и мера. Однако и его материалы, как отмечал сам автор, для такого количественного анализа были недостаточно представительными. Оценивалось влияние лишь на одну платформу и только одной геосинклинали — Уральской для герцинского, Большого Кавказа для альпийского циклов ее развития.

Составленные автором настоящей статьи (под редакцией В. Е. Хаина) литолого-палеогеографические карты континентов позволили на количественной основе провести сравнительный анализ впервые для ряда платформ и полного геосинклинального и орогенного обрамлений каждой из них. Эти карты опубликованы в «Атласе литолого-палеогеографических карт мира» [9], где подробно изложена методика их создания, а в объяснительных текстах к каждой из них охарактеризована эволюция осадочных бассейнов, вулканических зон и общих тектонических

режимов, а также приведен обширный список (более 500 работ) отечественной и зарубежной литературы, послуживший фактической основой для составления атласа.* По картам материков, оригинал которых составлен в масштабе 1 : 25 000 000, для эпох кембрия, ордовика, силура и девона по методике А. Б. Ронова [6] был проведен комплекс измерений и получены данные о площадях развития, распространенности и мощностях основных литологических типов отложений. Определены также скорости накопления последних (или осадочного породообразования, по П. П. Тимофееву) с учетом поправочных коэффициентов на древность и длительность стратиграфических интервалов, предложенных ранее автором [11]. В основу геохронологической шкалы положена работа [13]. В ней есть необходимая детальность и наиболее полно обоснован возраст границ.

Для решения поставленной нами задачи среди древних платформ были выбраны четыре — Восточно-Европейская, Северо-Американская, Сибирская и Южно-Американская. Материалы по Китайской платформе непригодны в связи с ее сильной раздробленностью на отдельные сегменты и слабой изученностью соседних с ней подвижных поясов. Африканская платформа в принятых здесь для раннего и среднего палеозоя границах почти не имеет геосинклинального обрамления, а материалы по палеозою Атласской системы слишком фрагментарны. На Австралийской платформе в течение ряда эпох совсем не существовало осадочных бассейнов [8, 9], и подобный анализ для нее также невозможен. То же относится и к Восточно-Антарктической платформе, изученность которой совершенно недостаточна.

По платформам для сравнения использованы данные о средних скоростях осадконакопления (погружений) и площадях, покрытых морем, отражающие вместе наиболее объективно режим развития этих структур [7]. Для геосинклиналей приведены кривые изменения средних скоростей осадконакопления на шельфах, показывающие темп погружений периферических частей этих структур и изменения средних скоростей в целом как индикаторов общей тектонической активности. По орогенным областям использованы сведения о скоростях осадконакопления, также указывающих на характер тектонической активности орогенов (таблица).

Восточно-Европейская платформа и обрамляющие подвижные пояса. Анализируя изменения во времени перечисленных выше показателей для платформы, Уральской, Средиземноморской, Британо-Скандинавской геосинклиналей и Британо-Скандинавской орогенной области, отраженные на рис. 1, следует прежде всего отметить отсутствие корреляции между тремя подвижными поясами. И это естественно, так как развитие каждого из них определялось местными, региональными факторами. Обращает внимание лишь совпадение периодов усиления тектонической активности во всех трех геосинклиналях в раннем ордовике, а в Уральской и Британо-Скандинавской — и в раннем силуре, общее снижение темпов и контрастности движений в раннем девоне.

На платформе в течение кембрийского времени активность колебательных движений последовательно уменьшалась, очевидно, в связи с завершением байкальского цикла развития обрамляющих подвижных поясов [8]. В дальнейшем начались трансгрессии, а скорость погружения увеличивалась с пиком в среднем ордовике. Выше отмечалось общее возрастание тектонической активности в раннем ордовике в смежных геосинклиналях, сменившееся затем в двух из них (кроме Британо-Скандинавской) ее спадом. События на платформе несомненно были обусловлены зависимостью ее развития от развития геосинклиналей, но запаздывали на одну эпоху. При этом изменения начинались и там, и здесь одновременно (в рамках нашей детальности до эпохи), а запаздывал на платформе пик активности погружений.

---

* В связи с ограниченным объемом статьи невозможно привести все геологические материалы и полный список литературы по данному вопросу. Поэтому автор вынужден дать здесь краткое геологическое описание и общие ссылки на предшествующую публикацию атласа.

Изменения во времени площадей, покрытых морем, на платформах и средней скорости осадконакопления на платформах, в геосинклиналях и орогенных областях в кембрии, ордовике, силуре и девоне

Период	Эпоха	Платформы								Геосинклинали										Орогенные области		
		Восточно-Европейская		Сибирская		Северо-Американская		Южно-Американская		Уральская		Средиземноморская		Аппалачская		Кордильерская		Инуитская		Алтае-Саянская и Монголо-Охотская		Андская		Британо-Скандинавская	Аппалачская	Енисейско-Патомская и Алтае-Северомонгольская
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	III	I	III	I	III	I	III	I	III	I	III	I	III	I	I	I
Девонский	Поздняя	55	29	28	13	38	26	12	12	62	65	36	22	—	—	62	82	—	—	60	44	60	59	—	64	67
	Средняя	60	14	36	14	30	11	26	15	81	64	43	15	—	—	31	37	96	44	94	82	71	36	58	121	95
	Ранняя	6	13	23	12	16	8	29	15	34	35	38	35	106	119	32	40	84	23	81	69	44	44	78	22	109
Силурийский	Поздняя	20	19	31	17	21	10	4	25	83	53	50	36	179	179	52	72	98	93	107	128	96	165	192	100	139
	Ранняя	29	14	46	22	37	8	27	22	76	73	40	29	158	158	38	73	81	69	87	76	44	38	—	22	149
Ордовикский	Поздняя	27	8	34	11	62	10	9	11	51	36	61	42	121	120	42	62	50	67	113	106	92	107	—	—	76
	Средняя	35	14	47	14	43	8	15	7	40	26	32	32	204	64	36	47	40	57	89	55	95	80	—	—	28
	Ранняя	28	6	54	17	37	11	11	10	99	104	59	59	124	69	32	48	65	95	83	—	118	112	—	—	85
Кембрийский	Поздняя	14	4	53	17	42	14	17	9	37	39	33	45	123	62	29	58	18	31	62	62	37	20	—	—	79
	Средняя	31	6	67	18	28	12	8	8	16	—	52	68	40	40	30	45	16	40	94	128	38	26	—	—	102
	Ранняя	41	7	84	16	13	11	2	7	47	—	34	32	29	18	40	59	41	58	67	45	45	29	—	—	45

I — средняя скорость осадконакопления, м/млн. лет; II — площади, покрытые морем, % от общей площади; III — средняя скорость осадконакопления в шельфовых зонах геосинклиналей, м/млн. лет

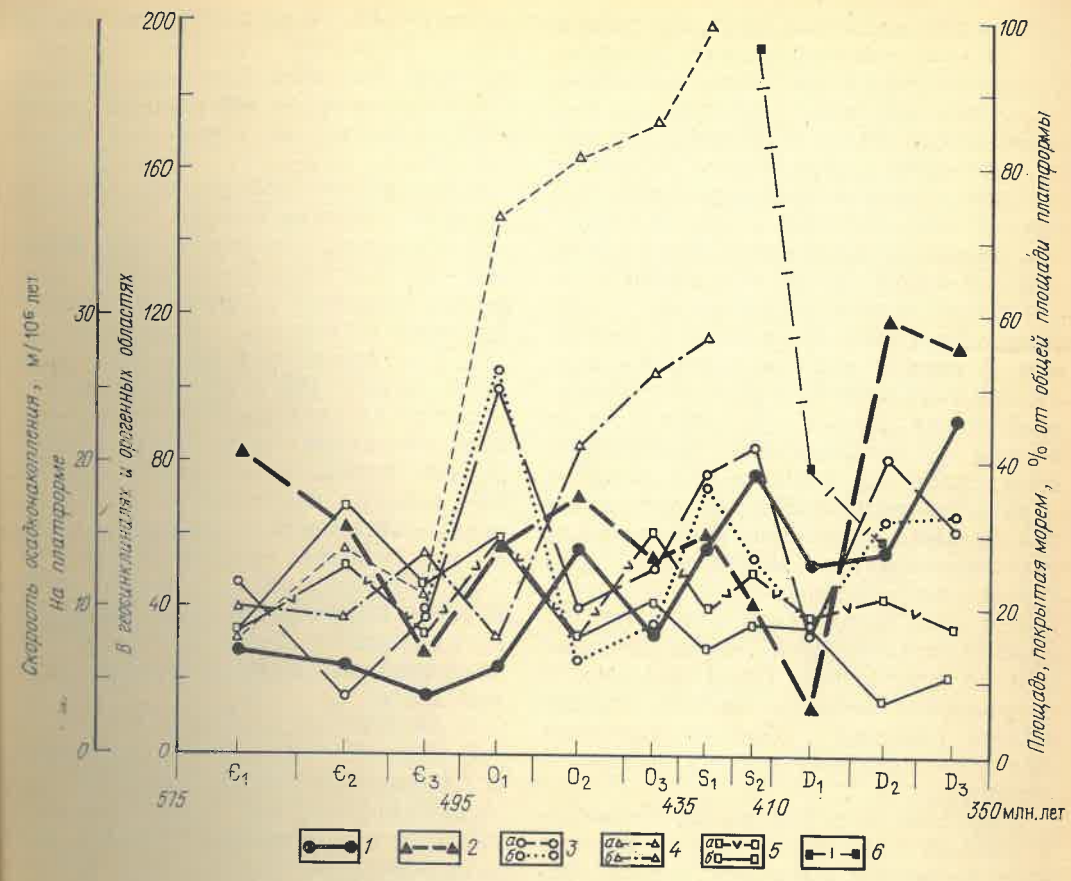


Рис. 1. Графики изменения во времени площадей, покрытых морем, и средних скоростей осадконакопления на Восточно-Европейской платформе и в обрамляющих ее подвижных структурах

Восточно-Европейская платформа: *1* — средняя скорость осадконакопления, *2* — площадь, покрытая морем; средняя скорость осадконакопления (*а* — в целом, *б* — в шельфовых зонах): *3* — Уральская геосинклиналь, *4* — Британо-Скандинавская геосинклиналь, *5* — Средиземноморская геосинклиналь, *6* — Британо-Скандинавская орогенная область

В раннем ордовике трансгрессия распространялась на Восточно-Европейскую платформу с северо-запада [9], со стороны резко активизировавшейся, как видно на рис. 1, Британо-Скандинавской системы. В связи с этим особенно увеличились размеры Балтийско-Московского бассейна в следующую эпоху — в среднем ордовике. Усиление в раннем ордовике интенсивности геосинклинальных процессов в Уральском поясе оказало влияние на окраину платформы, обусловив ее небольшие опускания позднее — в среднем ордовике. В указанное время темп развития самой Уральской геосинклинали несколько снизился. Все это в целом определило соответствующие среднеордовикские пики активности погружений и трансгрессий на платформе (см. рис. 1).

В позднем ордовике главным событием в истории развития обрамления платформы были энергичные поднятия в Скандинавской зоне, сопровождавшиеся регрессией в северо-западных платформенных бассейнах, которой завершился отмеченный выше пик трансгрессий. Небольшое повышение тектонической активности Уральского пояса (см. рис. 1) пока еще (в позднем ордовике) не затронуло край платформы. Таким образом, среднеордовикская волна усиления колебательных движений на платформе была вызвана развитием главным образом Британо-Скандинавской геосинклинальной системы.

Небольшая раннесилурийская трансгрессия на платформе связана, вероятно, с влиянием Средиземноморского пояса, так как она проявилась в основ-

ном на юго-западном крае платформы [9]. В этом поясе повышение активности фиксируется на эпоху раньше — в позднем ордовике (см. рис. 1). Немного увеличилась и площадь бассейна, смежного с Уральским поясом, в котором скорость осадконакопления в раннем силуре резко возросла. Крупная регрессия следующей, позднесилурийской эпохи нашла отражение в сокращении размеров Печорского и особенно Балтийско-Московского бассейнов. В первом это совпадает с замедлением погружений на шельфе Уральской геосинклинали (см. рис. 1), а во втором — с воздыманием Скандинавской орогенной зоны, перед которой, однако, сформировался глубокий краевой прогиб, заполнявшийся мощным грубообломочным комплексом [9]. Последняя особенность обусловила существенное возрастание в позднем силуре общей скорости осадконакопления на платформе. Следовательно, и силурийские события на ней определялись главным образом влиянием Британо-Скандинавской подвижной структуры.

Наиболее широкая на Восточно-Европейской платформе за каледонский этап регрессия в раннем девоне совпадала с ослаблением тектонической активности во всех обрамляющих поясах, включая и Британо-Скандинавскую орогенную область (см. рис. 1). Последующая среднедевонская максимальная трансгрессия распространялась на платформу с востока, в направлении от Уральского пояса на запад. В пределах этого пояса средний девон характеризовался резким увеличением скоростей осадконакопления с самого начала эпохи, а на платформе площадь моря достигла максимальных размеров к концу живетского века.

Таким образом, и здесь очевидна связь развития платформы с геосинклиналью с некоторым запаздыванием во времени. Такое запаздывание подчеркивается и материалами по позднему девону, когда произошло усиление темпа погружений на платформе до наибольшего в раннем — среднем палеозое значения (23 м за 1 млн. лет), явившееся реакцией на интенсивные среднедевонские тектонические процессы в Уральском поясе (см. рис. 1). Правда, определенное влияние на этот средний по платформе показатель скоростей осадко-накопления оказали довольно глубокие впадины (остаточные после завершения орогенного развития) на территории Британии [9].

Итак, можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Развитие колебательных движений на Восточно-Европейской платформе связано с процессами, происходившими в соседних подвижных поясах. Подтверждается известный вывод А. Б. Ронова [6] и других исследователей об их запаздывании на платформах. Указанная связь имеет разнообразные формы, и нет прямой корреляции между изменениями скоростей осадконакопления на данной платформе и в смежных геосинклиналях.

2. Общими для платформы и подвижных поясов были такие эпохи резкого изменения знака преобладающих движений, как поздний кембрий и ранний девон.

3. Определяющее влияние на развитие Восточно-Европейской платформы в каледонском цикле оказывала Британо-Скандинавская геосинклинальная система, а в среднем и позднем девоне, в начале герцинского цикла — Уральский геосинклинальный пояс.

Северо-Американская платформа и обрамляющие подвижные пояса. Материалы по этой платформе, Аппалачской, Кордильерской, Иннуитской геосинклиналям и Аппалачской орогенной области, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что в развитии подвижных структур и в этом случае нет никакой корреляции, кроме общего для них усиления тектонической активности в позднем силуре и затем ее резкого снижения в раннем девоне.

На платформе амплитуда изменений скорости погружения была невелика. Здесь нет ясной тенденции таких изменений, исключая небольшое возрастание скорости погружения к позднему кембрию, снижение ее к среднему ордовику и вновь резкое возрастание к концу девона, причина которого будет рассмотрена ниже. В изменениях площади площади морей, наоборот, усматривается вполне четкая закономерность, заключающаяся в ее последовательном увеличении до позднего ордовика, что было главным событием

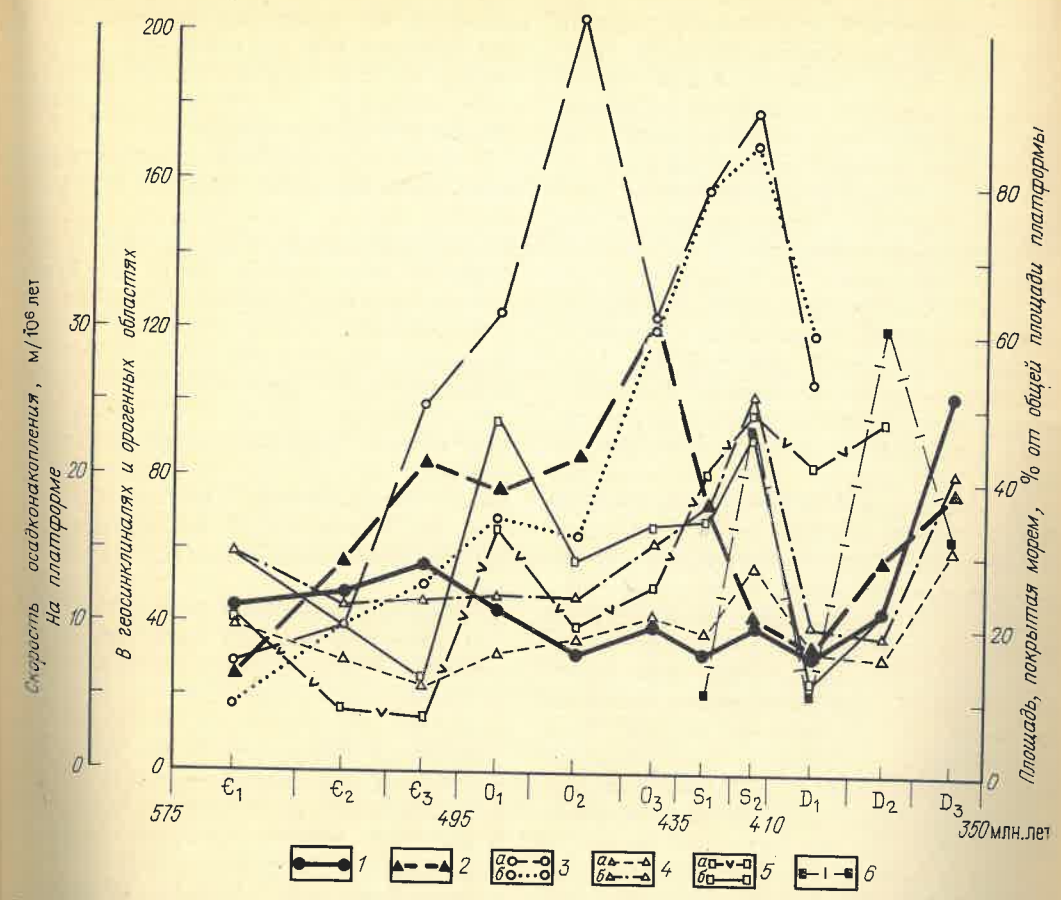


Рис. 2. Графики изменения во времени площадей, покрытых морем, и средних скоростей осадконакопления на Северо-Американской платформе и обрамляющих подвижных структурах

Северо-Американская платформа: *1* — средняя скорость осадконакопления, *2* — площадь, покрытая морем; средняя скорость осадконакопления (*а* — в целом, *б* — в шельфовых зонах): *3* — Аппалачская геосинклиналь, *4* — Кордильерская геосинклиналь, *5* — Иннуитская геосинклиналь, *6* — Аппалачская орогенная область

снижении до раннего девона, а затем новом увеличении до конца девона.

Рассмотрим все эти изменения на платформе более подробно с привлечением данных по нашим литолого-палеогеографическим картам, опубликованным, как уже говорилось, в атласе [9], и путем сравнения со смежными подвижными структурами. На протяжении кембрийских эпох скорости погружений и площади морей на Северо-Американской платформе последовательно возрастали (см. рис. 2). Рост их происходил за счет погружений Приаппалачской и Прикордильерской перикратонных зон [9]. На севере платформы, в Прииннуитской зоне, напротив, отмечается регрессия, происходившая одновременно со снижением активности в соседней геосинклинали. В расширении Приаппалачской зоны также можно усмотреть зависимость от возрастания интенсивности процессов в смежной геосинклинали, а для Прикордильерской зоны такого соответствия нет (см. рис. 2).

В раннем ордовике на платформе в целом происходила небольшая регрессия, в результате которой сократилась площадь морей в Прикордильерской зоне при равномерном и «вялом» развитии Кордильерской геосинклинали (см. рис. 2). Для северного края платформы можно наметить перераспределение и некоторое расширение морских бассейнов в связи с усилением скорости движений в Иннуитской геосинклинали. Но тектоническая активизация в Аппалачской системе пока не отражалась на развитии смежного платформенного блока.

В последующей ордовикской истории сохранились небольшие размеры Прикордильерской зоны и общая, самая крупная в раннем и среднем палеозое, трансгрессия распространялась во внутренние районы платформы, в основном со стороны Аппалачской геосинклинали [9]. В ее пределах пик тектонической активности наступил в среднем ордовике, на платформе же данная трансгрессия достигла максимальных размеров на эпоху позднее — в позднем ордовике (см. рис. 2).

Таким образом, и здесь устанавливается запаздывание на одну эпоху влияния на платформу смежных геосинклиналей. Небольшую роль в развитии этой ордовикской общей трансгрессии играла и Иннуитская геосинклиналь, раннеордовикская активизация которой вызвала расширение морских бассейнов Прииннуитской перикратонной зоны в среднем и позднем ордовике.

Силурийские эпохи были для платформы временем проявления последовательной и широкой регрессии, хотя небольшие остаточные морские бассейны сохранялись в ее центральном районе, по-видимому, до конца этого периода [9]. Волна поднятий возникла в начале силура в той части платформы, откуда в свое время распространялась трансгрессия, — в Приаппалачской зоне. Напомним, что с раннего силура резко изменился характер тектонического развития Аппалачской системы: в Южных Аппалачах геосинклинальный режим сменился орогенным, а севернее общие условия также были близки к орогенным — преобладали поднятия, проявлялись складчатость и метаморфизм [9]. Высокие скорости силурийского осадконакопления, приуроченные к остаточным прогибам Аппалачей, подчеркивают контрастность тектонических движений (см. рис. 2). Следовательно, новая волна колебательных движений на Северо-Американской платформе вновь возникла под влиянием Аппалачской подвижной системы.

В раннем девоне на платформе в целом еще продолжалась регрессия (см. рис. 2). По-прежнему сокращалась площадь морей в Приаппалачской зоне, но главными были поднятия на севере — в Прииннуитской зоне. С этой эпохи началось орогенное развитие на значительной части соседней Иннуитской системы [9]. Здесь также можно проследить отчетливую связь поднятий в подвижной системе с регрессией на платформе.

В Прикордильерской перикратонной зоне, особенно в ее северном сегменте, ранний девон, наоборот, был эпохой зарождения волны погружений и расширения морских бассейнов [9]. Наши количественные данные по скоростям осадконакопления в смежном Кордильерском геосинклинальном поясе показывают, что предшествующая позднесилурийская эпоха отличается резким пиком, соответствующим максимальной для пояса за каледонский цикл тектонической активности (см. рис. 2). Затем вновь наблюдается та же закономерность: в следующую после пика эпоху началась трансгрессия на смежном крае платформы.

В последующем эта «наведенная» со стороны Кордильерской геосинклинали трансгрессия получила дальнейшее развитие. Морской бассейн в среднем девоне распространился на центральную часть платформы и соединился с бассейном Приаппалачской зоны [9]. В позднем девоне площадь морских бассейнов в Прикордильерской зоне расширилась еще больше, а мощные погружения обусловили резкое возрастание средней скорости осадконакопления (до 26 м за 1 млн. лет). В Приаппалачской зоне площадь морей со второй половины девона тоже немного увеличилась, но это было явно второстепенным, и скорость погружений, судя по мощностям отложений, здесь была очень невелика, кроме впадин, непосредственно примыкавших к Аппалачскому орогену.

На основании вышеизложенного можно сделать выводы, во многом аналогичные тем, которые сформулированы для Восточно-Европейской платформы и ее обрамления.

1. Эволюция колебательных движений на Северо-Американской платформе прямо зависит от тектонических процессов в соседних подвижных поясах. Трансгрессии на платформе начинались с запаздыванием на одну эпоху по отношению к пикам тектонической активности в тех подвижных структурах, со стороны которых они распространялись. Регрессии были синхронны ми переходу к активным поднятиям в смежных геосинклиналях. В связи с такими закономерностями прямая корреляция между изменениями скоростей осадконакопления на платформе и в окружающих подвижных структурах отсутствует и зависимость здесь более сложная.

2. Общими эпохами в отношении резкого изменения знака колебательных движений для платформы и соседних подвижных систем были поздний силур и ранний девон.

3. В каледонском цикле главное влияние на развитие Северо-Американской платформы оказывали Аппалачская и частично Иннуитская геосинклинали, а в начале герцинского цикла, в среднем и позднем девоне, — Кордильерский геосинклинальный пояс.

Сибирская платформа и обрамляющие подвижные пояса. Сравнение истории развития осадочных бассейнов Сибирской платформы и смежных подвижных структур вызывает определенные затруднения. Главное заключается в том, что мы не располагаем данными для раннего и среднего палеозоя о смежных с севера и северо-запада структурах, куда, как правило, открывались Таймырский и Тунгусский бассейны. Нет также сведений о природе восточной границы платформы, где на наших литолого-палеогеографических картах отображена система структурных швов, отражающих положение будущих более молодых мезозойских геосинклиналей Верхоянской области [9]. С позднего кембрия на северо-востоке платформы началась постепенная регенерация условий геосинклинального режима [9]. Развитие этой новой Верхояно-Колымской эпикратонной геосинклинали, безусловно, влияло на режим соседних платформенных бассейнов, но ее палеотектонические границы для ордовика, силура и большей части девона реконструировать пока не удается. Поэтому сравнительный количественный анализ и здесь невозможен. Остается лишь сопоставить изменение скоростей и площадей осадконакопления платформенных бассейнов со скоростями осадконакопления в Алтае-Саянской и Монголо-Охотской геосинклинальных областях, а также в Енисейско-Патомской и Алтае-Северомонгольской орогенных областях, обрамлявших платформу с юга и юго-запада. Результаты отражены на рис. 3.

Общая тенденция в развитии морских бассейнов на Сибирской платформе — последовательное сокращение их площади, сопровождавшееся кратковременными трансгрессиями в раннем силуре и среднем девоне. Наиболее интенсивная регрессия происходила в течение кембрия, когда поднятия охватили обширную восточную часть платформы [9]. При этом средняя скорость погружений почти не изменялась (см. рис. 3). Нет какой-либо зависимости развития Сибирской платформы от развития южных геосинклинальных структур, которые были очень удалены от области поднятий на востоке и северо-востоке платформы.

В раннем ордовике общая регрессия на платформе прекратилась (см. рис. 3), но границы морских бассейнов претерпели существенные изменения. На северо-востоке, как уже говорилось, с позднего кембрия началась регенерация геосинклинального режима, и в раннем ордовике (с запозданием на одну эпоху) в погружения оказались вовлеченными соседние с Верхояно-Колымской подвижной зоной участки платформы [9]. Однако в районе Анабарского щита регрессия продолжалась и площадь моря резко сократилась.

В дальнейшем почти до среднего девона главное влияние на развитие колебательных движений в центральной части Сибирской платформы оказывали, по нашим данным, южные подвижные структуры. На северо-востоке сохранялись сравнительно стабильные погружения в бассейнах, примыкавших к Верхояно-Колымской геосинклинали [9]. В центральных же районах платформы до конца ордовика размеры Таймыро-Тунгусского бассейна последовательно уменьшались. Одновременно происходило заметное снижение скорости погружений (см. рис. 3). В то же время в южных геосинклинальных структурах, как видно на графике, интенсивность тектонических процессов нарастала и достигла максимума в позднем ордовике. Волна тектонической активизации, распространяясь на север, в эту эпоху, согласно нашим

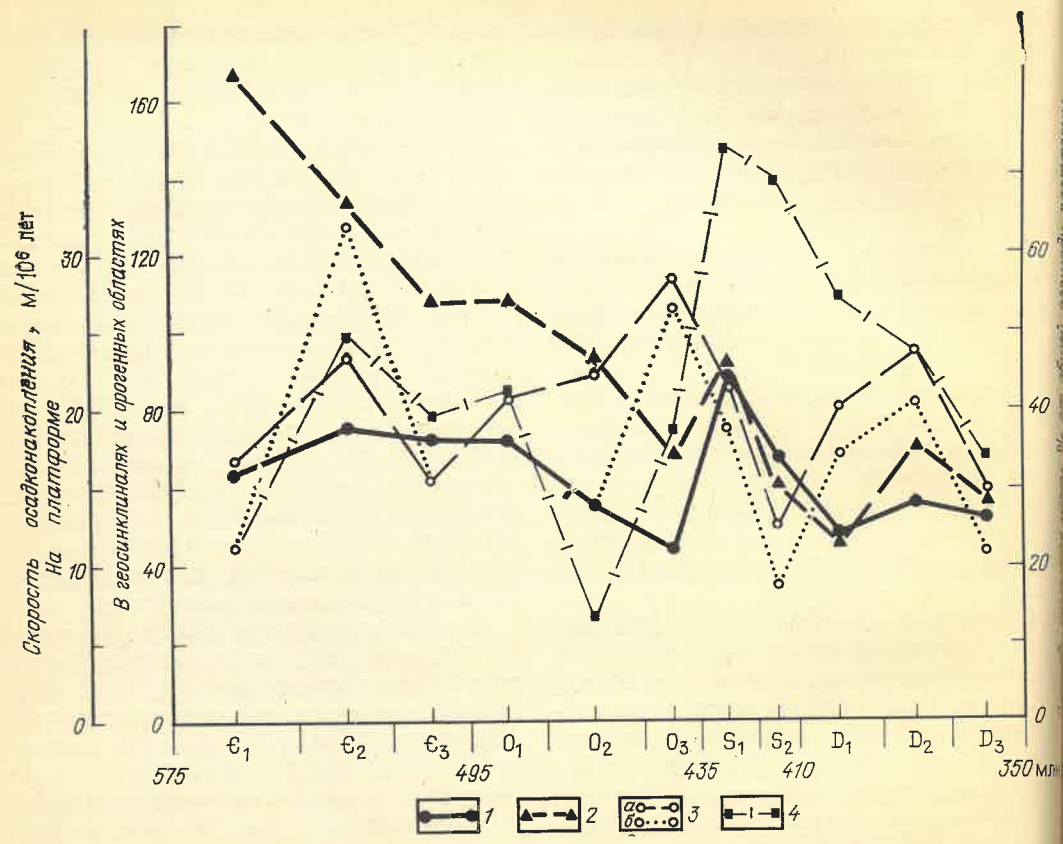


Рис. 4. Графики изменения во времени площадей, покрытых морем, и средних скоростей осадконакопления на Сибирской платформе и в обрамляющих подвижных структурах

Сибирская платформа: *1* — средняя скорость осадконакопления, *2* — площадь, покрытая морем; *3* — средняя скорость осадконакопления в Алтае-Саянской и Монголо-Охотской геосинклиналях (*а* — в целом, *б* — в шельфовых зонах); *4* — средняя скорость осадконакопления в Енисейско-Патомской и Алтае-Северомонгольской орогенных областях

материалам, достигла орогенной области, где резко усилилась скорость погружений во впадинах (см. рис. 3).

В следующую эпоху — в раннем силуре — темп тектонических движений в южных геосинклиналях намного снизился, но максимального значения он достиг в орогенной области (см. рис. 3). Волна активизации распространилась еще севернее и охватила платформу, где с ней были связаны резкое (двукратное) увеличение скорости погружений и крупная трансгрессия (см. рис. 3). Таким образом, усиление колебательных движений на Сибирской платформе в раннем силуре произошло на одну эпоху позднее пика тектонической активности в соседней геосинклинали, но одновременно с максимумом скоростей погружений в смежной орогенной области. Следовательно, и Сибирская платформа в своем развитии подчинялась таким же закономерностям, которые бы ли выявлены для вышеописанных Во точно-Европейской и Северо-Америк канской платформ.

В раннем девоне в Таймыро-Тунгу ском бассейне отмечается значите ная регрессия, и общая площадь мор на платформе достигает минимально за рассматриваемое время значен (см. рис. 3). Одновременно резко сн зилась и скорость погружений. В ю ных геосинклинальных областях, к показывает график, минимальны средние скорости осадконаколле были на одну эпоху раньше — в по нем силуре, а затем вновь увеличив лись до среднего девона. Новое ожи ление тектонической деятельнос возможно, отразилось в еще одн позднедевонской трансгрессии Тайм ро-Тунгусского бассейна [9]. Если э так, то и в данном случае устанав вается запаздывание во времени

одну эпоху погружений на платформе по сравнению с периодом наибольшего усиления тектонической активности в ближайшей геосинклинали.

Таким образом, несмотря на неполноту полученной информации по обрамлению Сибирской платформы, и здесь очевидна связь колебательных движений в платформенных морских бассейнах с развитием смежных геосинклинальных структур. Прямой корреляции между изменением скоростей осадконакопления в тех и других по-прежнему нет, но, как показано на примерах других платформ, на Сибирской имеет место смещение во времени на одну эпоху трансгрессий в платформенных бассейнах по отношению к пикам тектонической активности в ближайших геосинклиналях.

Южно-Американская платформа и Андский геосинклинальный пояс. Ранее нами отмечалась недостаточная изученность раннепалеозойских отложений в Южной Америке [9, 10]. Поэтому количественные данные для кембрия о скоростях осадконакопления и площадях, покрытых морем, в Андском поясе и на платформе весьма условны. Отметим лишь, что вполне реальное расширение погружений в Приандской перикратонной зоне в конце кембрия можно связать с почти одновременной деструкцией континентальной коры в пределах Перуанско-Боливийской системы Андского пояса. Последующая история развития платформы и геосинклинального пояса обоснована более представительными материалами.

В раннем ордовике выявлено резкое усиление скорости осадконакопления в Андском поясе. На эпоху позднее — в среднем ордовике — произошла небольшая трансгрессия в Приандской перикратонной зоне (рис. 4). Новое оживление тектонической активности в подвижном поясе (в основном в шельфовых зонах), как показано на графике, приурочено к позднему ордовику, а еще одна волна погружений охватила перикратонную зону и Амазонский бассейн снова на одну эпоху позднее — в раннем силуре. Эта обширная трансгрессия сопровождалась резким усилением скорости погружений.

В позднем силуре Амазонский бассейн испытал поднятия и связанную с ними полную регрессию. В продолжавшие погружаться бассейны Чако и Мараньяо (Бразилия), обломочный материал поступал в избытке, накапливаясь преимущественно в континентальных фациях [9]. Это, очевидно, было вызвано высокой скоростью поднятия областей суши в центральных районах платформы. В целом поздний силур оказался для нее эпохой наиболее контрастных тектонических движений, выразившихся в максимальной регрессии и самых высоких скоростях погружений. В Андском поясе в указанное время также отмечаются новый пик тектонической активности (см. рис. 4) и переход почти всех его структур к орогенному режиму развития [9].

В раннем девоне в геосинклиналях скорость осадконакопления резко снизилась, так же резко уменьшилась скорость погружений в платформенных бассейнах, но намного увеличилась их площадь в связи с самой обширной в раннем и среднем палеозое трансгрессией (см. рис. 4). Погружения и морские условия снова преобладали в Амазонском бассейне, охватили бассейны Параны, расширились в бассейне Мараньяо и усилились в бассейне Чако [9]. Вновь наблюдается запаздывание на одну эпоху волны трансгрессий на платформе по отношению к позднесилурийскому пику тектонической активности в соседнем подвижном поясе.

Таким образом, в каледонском этапе каждая эпоха трансгрессий на Южно-Американской платформе следовала за эпохой активизации в Андском подвижном поясе, но прямой корреляции между колебаниями скоростей осадконакопления в этих структурах нет. Заслуживает внимания резкая контрастность всех изменений в силурийские эпохи.

В заключение можно сделать следующие выводы.

Как и предполагалось на основе многочисленных предшествующих геологических сопоставлений [1, 2, 4, 5, 12], эволюция краевых осадочных платформенных бассейнов определяется историей геологического развития соседних подвижных поясов. Однако

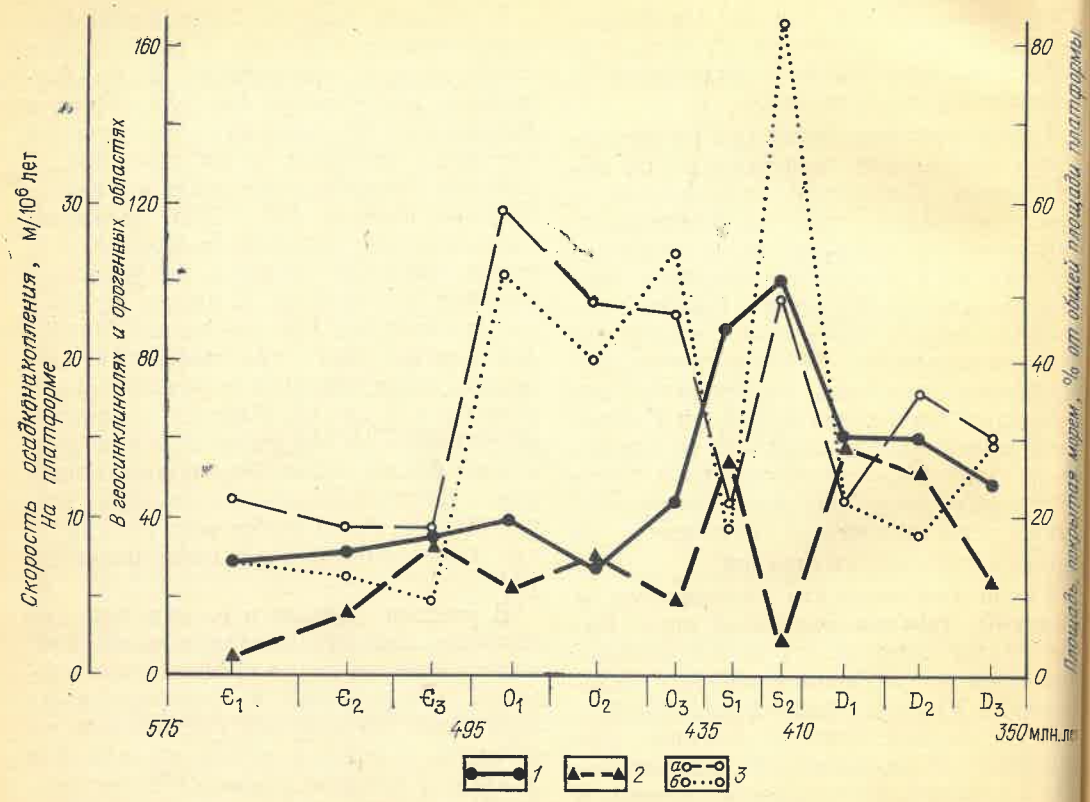


Рис. 4. Графики изменени яво времени площадей, покрытых морем, и средних скоростей осадконакопления на Южно-Американской платформе и в Андской геосинклинали

Южно-Американская платформа: *1* — средняя скорость осадконакопления, *2* — площадь, покрытая морем, *3* — средняя скорость осадконакопления в Андской геосинклинали (*а* — в целом, *б* — в шельфовых зонах)

оказалось, что это относится не только к перикратонным зонам, но и к центральным частям платформ, удаленным от подвижных структур на значительное расстояние. В качестве примера может быть рассмотрена любая из четырех платформ.

На развитие Восточно-Европейской платформы в каледонском тектоническом цикле главное влияние оказывала Британо-Скандинавская, а в начале герцинского цикла — Уральская геосинклинали. Для Северо-Американской платформы в каледонском цикле определяющим было влияние Аппалачской, а в начале герцинского цикла — Кордильерской геосинклиналей. С этими особенностями связаны структурные перестройки осадочных платформенных бассейнов.

Подтвердился главный вывод А. Б. Ронова [6] о запаздывании колебательных движений на платформе и уточнена динамика этого явления. Трансгрессии и усиление скоростей по-гружений на платформах начинаются на одну эпоху позднее (в среднем на 15—20 млн. лет) по отношению к пи-кам активности в смежных, наиболее подвижных в данном тектоническом цикле геосинклиналях. Исключения из этой закономерности в раннем и среднем палеозое нам не известны. Регрессии и замедление погружений на платформах соответствуют во вре-мени эпохам снижения скоростей осад-конакопления в тех же геосинклина-лях при завершении зрелой стадии их развития, разрастании в них поднятий и переходе к условиям орогенного тек-тонического режима. Вследствие таких взаимоотношений нет полной синхрон-ности в изменении скоростей осадкона-копления на платформах и в обрам-ляющих их подвижных поясах. Одна-ко отдельные эпохи характеризуются од-новременным резким изменением зна-ка преобладающих тектонических дви-жений, например, ранний девон почти для всех структур.

Одинаковое время запаздывания погружений платформенных бассейнов под влиянием геосинклинальных тектонических режимов указывает на вероятную однотипность обоих процессов на всех континентах и позволяет оценить скорость передачи глубинных (очевидно, мантийных) тектонических импульсов по латерали. Одновременность усиления поднятий на платформах с расширением орогенных процессов в подвижных поясах свидетельствует о том, что это, вероятно, связано с наличием общих более глубоких энергетических источников или с глобальным характером явлений. Раскрытие причин таких взаимосвязей — задачи дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белоусов В. В.* Эндогенные режимы материков. М., Недра, 1978.
2. *Зоненшайн Л. П., Поникаров В. П., Уфлянд А. К.* О структурах, пограничных между платформами и геосинклинальными областями. — Геотектоника, 1966, № 5, с. 3—18.
3. *Павловский Е. В.* Зоны перикратонных опусканий — платформенные структуры первого порядка. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1959, № 12, с. 3—9.
4. *Пущаровский Ю. М.* Краевые прогибы, их тектоническое строение. М., Изд-во АН СССР, 1959. (Тр. ГИН АН СССР, вып. 28).
5. *Пущаровский Ю. М.* Резонансно-тектонические структуры. — Геотектоника, 1969, № 1, с. 3—12.
6. *Ронов А. Б.* История осадконакопления и колебательных движений европейской части СССР. М., Изд-во АН СССР, 1949. (Тр. Геофиз. ин-та, № 3).
7. *Ронов А. Б., Хаин В. Е.* Основные вопросы соотношений между седиментацией и тектоникой. — В кн.: Состояние и задачи советской литологии. Т. 1. М., Наука, 1970, с. 67—79.
8. *Ронов А. Б., Хаин В. Е., Сеславинский К. Б.* Вендские литологические комплексы мира. — Сов. геология, 1981, № 5, с. 37—59.
9. *Ронов А. Б., Хаин В. Е., Сеславинский К. Б.* Атлас литолого-палеогеографических карт мира. Поздний докембрий и палеозой континентов. Л., Недра, 1984.
10. *Сеславинский К. Б.* Каледонский этап в развитии Анд. — Геотектоника, 1978, № 2, с. 67—82.
11. *Сеславинский К. Б.* О скоростях осадконакопления в геологическом прошлом. [Статья 1]. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1983, т. 58, вып. 4, с. 29—48.
12. *Хаин В. Е.* Общая геотектоника. М., Недра, 1964.
13. *Contributions* to the geological time scale. Eds.: J. V. Cohee at al.— Bul. Am. Assoc. Petrol. Geol., Stud. Geology, 1978, N 6.
14. *Hatt W. E., Dennison R. E., Meritt C. A.* Basement rocks and structural evolution of Southern Oklahoma (a summary). — Bul. Am. Assoc. Petrol. Geol., 1965, v. 49, N 7, p. 927—934.
15. *Sloss L. L.* Orogeny and epeirogeny: the view from the craton. — Trans. N.-Y., Acad. Sci., 1966, ser. 11, v. 28, N 5, p. 579—587.
16. *Wheeler H. E.* Post-Sauk and pre-Absaroka Paleozoic stratigraphic patterns in North America. — Bul. Am. Assoc. Petrol. Geol., 1963, v. 47, N 8, p. 1497—1526.

УДК 550.814 : 629.783 : 551.24(571.5)

С. И. СТРЕЛЬНИКОВ (ВСЕГЕИ)

Анализ структуры Сетте-Дабана и сопредельных территорий по космическим снимкам

Сетте-Дабан, согласно схеме Л. И. Красного [11], является межгеоблоковой системой, разделяющей Колымский и Алдано-Становой геоблоки. На юге Сетте-Дабан имеет торцовое сочленение с Монголо-Охотской межгеоблоковой системой. По крайней мере с конца рифея Сеттте-Дабанская система развивалась в условиях специфического тектонического режима, но под влиянием процессов, происходящих в смежных структурах. Это определило формирование ряда особенностей ее внутренней структуры.

Изучение этих особенностей по космическим снимкам ведется с 1976 г. Первоначально анализировались мелкомасштабные снимки системы «Метеор» глобального уровня генерализации, затем и более крупномасштабные [6]. По результатам первого этапа исследований была составлена космотектоническая карта масштаба 1 : 1 500 000 под редакцией В. А. Биланенко и В. А. Ян-Жин-Шина [4], на которой показаны крупнейшие структурные элементы Якутии. Вся территория Южного Верхоянья, включающая Сетте-Дабан и сопредельные части Колымского геоблока, выделялась как единая структура.

Более детальный анализ строения рассматриваемой территории, проведенный сотрудниками ПГО «Аэрогеология» в процессе космогеологического картирования [10] и автором при составлении геологической и тектонической карт Южного Верхоянья, позволил установить не отмечавшиеся ранее особенности геологического строения этого важного в металлогеническом отношении региона. В первую очередь использовались изображения

среднего разрешения со спутников «Метеор-29, 30». Снимки позднеосеннего, зимнего и ранневесеннего сезонов, практически без облачности, получены при высотах стояния солнца 19—27° около четырех часов по московскому времени. Такие условия съемки обеспечили очень четкое изображение деталей рельефа, являющегося основным индикатором геологических объектов.

Тектонический анализ космических снимков заключался в районировании территории по особенностям рисунка изображения, представляющего собой интегральную картину проявления на поверхности разнородных структурных элементов. При районировании принимались во внимание следующие признаки: преобладающая ориентировка линейных элементов, их размеры и плотность; соотношение линеаментов различной длины; соотношение линейных и кольцевых элементов различных размеров. Последующее сравнение данных дешифрирования с геологическими, геофизическими и геоморфологическими материалами показало, что выделенные области различаются по составу и условиям залегания слагающих их отложений (таблица) и наиболее близко отвечают структурным (деформационным) зонам [13]. По деталям структурного рисунка зоны в ряде случаев могут быть разделены на структурные районы (рис. 1).

Структурные зоны ограничены четко морфологически выраженными, хорошо дешифрируемыми линейными элементами, соответствующими главным разрывным нарушениям региона (рис. 2). Кроме того, по снимкам выделяется значительное число разрывных нарушений, разграничивающих зоны на ряд более мелких блоков. Все структурообразующие разломы, и главные и второго порядка, в той или иной степени отражаются в геофизических полях. Как правило, они трассируются градиентными зонами либо и магнитного, и гравитационного полей одновременно, либо какого-нибудь одного, чаще гравитационного поля.

Помимо разломов, определяющих ориентировку основных структур региона, на снимках фиксируется система диагональных и поперечных линейных структур северо-западного (сетаньинская система), северо-восточного (сунтарская система) и близширотного простирания. Большая часть их имеет трансрегиональный характер. Разломы сетаньинской системы более характерны для северной половины изучаемой территории. Самые северные из них (Халыинский и Томпо-Менкюленский) вместе с рядом разломов близширотного (запад-северо-западного) простирания (Дыбинским и др.) являются фрагментами Вилюйско-Охотского суперлинеамента, выделенного якутскими геологами при дешифрировании снимков «Метеор» малого разрешения [6]. Роль субширотных элементов как структур, ограничивающих поперечные поднятия, отмечалась Г. С. Гусевым [7], Л. Б. Ботовым, А. Л. Ставцевым [5] и другими исследователями. Они дешифрируются преимущественно в южной половине региона. Большая часть диагональных и поперечных структур отражается в геофизических полях, причем северо-западные трассируются градиентными магнитными, реже гравитационными зонами, а близширотные соответствуют гравитационным градиентным зонам, иногда значительной протяженности; в магнитном поле эти элементы проявлены преимущественно как оси локальных аномалий.

В пределах изучаемой территории широко развиты разномасштабные кольцевые структуры [4, 6, 10, 18]. Выделяется три группы структур по размерам в поперечнике: 150—200, 50—75 и 5—25 км (макро- мезо- и министруктуры, по [12]). Обращает на себя внимание характер распределения их по площади (см. рис. 2): если макроструктуры выявляются по всему региону то, мезо- и министруктуры сосредоточены почти исключительно к востоку от линии верховьев рек Челасин — Восточная Хандыга, т. е. на юге Сетте-Дабана и прилегающих частях Колымского геоблока. При этом мезо- и министруктуры сконцентрированы в пределах макроструктур в междуречье Аллах-Юнь и Юдома, Аллах-Юнь и Тыры, Мая и Улья. Сопоставление с геологическими материалами показывает, что большинство мезо- и министруктур непосредственно связаны с отдельными закартированными гранитоидными массивами. Сходный рисунок изображения таких структур и участков, где гранитоиды на поверхности не зафиксированы, позволяет предполагать наличие невскрытых массивов. В ряде случаев это подтверждается геофизическими материалами: кольцевым структурам соответствуют изометричные отрицательные гравитационные и магнитные аномалии.

Аллахюнь-Юдомская макроструктура выделяется пониженным гравитационным полем и соответствует области спокойного отрицательного магнитного поля. Указанные особенности позволяют предполагать наличие на глубине интенсивно гранитизированного блока фундамента. Расположенная южнее Ульинская макроструктура, южная часть которой ранее была описана А. Л. Ставцевым и Л. В. Ботовым [16], морфологически близка Аллахюнь-Юдомской, но несколько отличается по геофизическим характеристикам, что, очевидно, связано с влиянием мощной толщи меловых вулканитов, выполняющих Ульинский вулканоген. В целом же в ее пределах также развит гранитизированный фундамент. В верховьях рек Аллах-Юнь и Халыя отмечается овальная макроструктура диаметром около 160 км, объединяющая Верхнеаллахский и Винто-Халыинский субвулканы. Ряд мезо- и министруктур в пределах Ульинской макроструктуры по геологическим данным также могут интерпретироваться как изображения палеовулканических сооружений.

Таким образом, практически все кольцевые структуры восточной части рассматриваемой территории связаны с процессами гранитизации, на завершающем этапе которой проявлялся вулканизм в виде контрастных серий с возникновением вулкано-купольных структур. Это класс кольцевых структур можно рассматривать как результат гранито-сводового тектогенеза.

Макроструктуры западной части рассматриваемой территории имеют сложное строение. Наиболее четко концентрическая зональность, подчеркивающая купольный характер, проявляется в Омнинской макроструктуре, выде-

Геолого-геоморфологическая характеристика структурных зон Сетте-Дабана и сопредельных частей Колымского геоблока

Структурная зона	Особенности рисунка изображения	Структурные парагенезисы	Состав отложений	Рельеф (преобладающий тип)
Майско-Кыллахская линейно-складчатая	Преобладание редких четко выраженных протяженных меридиональных линеаментов. Чередование узких полосовых участков светлого тона с различной ориентировкой мелких линейных элементов и участков темного тона удлиненно-овальной формы с неясно дешифрируемым рисунком	Линейные крутые складки, реже брахиформные мегаскладки, осложненные продольными разломами типа взбросов и надвигов выдержанной меридиональной ориентировки	Терригенные, карбонатные, карбонатно-терригенные	Низкогорный структурно-денудационный
Сетте-Дабанская линзовидно-блоково-складчатая	Отчетливая полосчатость, обусловленная четкими меридиональными параллельно или кулисообразно расположенными линеаментами различной протяженности. Обилие прерывистых линеаментов близширотной и северо-западной ориентировки. Единичные кольцевые элементы	Линейные крутые складки протяженностью до 150 км при ширине 5—15 км. Многочисленные разрывы типа взбросов и надвигов, ориентированные продольно или под косым углом к осям складок	Преимущественно карбонатные и карбонатно-терригенные	Среднегорный, сильно расчлененный, денудационно-тектонический
Уйско-Майская мелкоблоковая с элементами купольных структур	Преобладание протяженных линеаментов север-северо-восточной ориентировки при обилии мелких линейных элементов близширотной и северо-восточной ориентировки. Немногочисленные разнопорядковые кольцевые элементы	Брахиформные складки, нарушенные разрывами близмеридиональной и северо-восточной ориентировки. Полигонально-блоковое строение осложнено наложением разнопорядковых кольцевых структур	Преобладают терригенные, реже терригенно-карбонатные и карбонатные, участками вулканогенно-терригенные	Среднегорный, сильно расчлененный, денудационно-тектонический с участками среднегорного структурно-денудационного с чертами литоморфного
Иоткан-Аллахюньская линейно-блоковая	Сочетание близмеридиональных и северо-восточных линеаментов с преобладанием последних	Линейные складки, ориентированные в северо-восточном направлении, осложненные разрывами типа сбросов, взбросов и надвигов, образующие четко выраженные системы северо-восточной, северо-западной и меридиональной ориентировки	Терригенно-карбонатные	Средне- и низкогорный, денудационно-тектонический
Присеттедабанская моноклинорная	Слабая выраженность разноориентированных линеаментов незначительной протяженности	Преимущественно моноклинальное с углами падения 10—20°, часто почти горизонтальное залегание. Разрывные нарушения образуют систему линзовидных, реже полигональных блоков	Терригенные	Средне- и низкогорный, денудационно-тектонический

Продолжение

Структурная зона	Особенности рисунка изображения	Структурные парагенезисы	Состав отложений	Рельеф (преобладающий тип)
Аллахюнь-Юдомская купольно-блоковая	Обилие кольцевых элементов разного порядка. Преобладание близмеридиональных и северо-восточных протяженных четко морфологически выраженных линеаментов. Мелкие линеаменты имеют разнообразную ориентировку. Повышенная плотность линеаментов	Линейные, реже брахиформные складки близмеридиональной и северо-восточной ориентировки коробчатого типа, локально развиты узкие гребневидные складки. Разрывные нарушения северо-восточной и близмеридиональной ориентировки образуют систему полигональных блоков, осложненную наложением разнопорядковых дугообразных и кольцевых структур	Терригенные, в наложенных впадинах — вулканогенно-терригенные	От высокогорного структурно-денудационного на севере до низкогорного эрозионно-денудационного

ленной Б. С. Неволиным и др. [9]. Диаметр структуры порядка 250—300 км. Она фиксируется на снимках тремя кольцевыми зонами темного тона, что обусловлено интенсивным развитием растительности. Зоны разделяются кольцевыми разломами, по которым ступенчато смещены породы как чехла, так и фундамента. Центральная часть структуры сложена породами катархея, прорванными меловыми интрузиями субщелочных гранитов. В физических полях концентричность строения Омнинской структуры подчеркивается дуговыми элементами гравитационного и магнитного полей. Батомгская структура диаметром 75—100 км аналогична по строению центральной части Омнинской макроструктуры и представляет собой выступ архейского основания, кольцевое строение которого фиксируется радиально-концентрическим распределением гидросети и градиентных зон гравитационного поля.

Очень четко на снимках междуречья Ханда—Юдома дешифрируется овальная, несколько вытянутая с севера на юг Юдомская макроструктура, достигающая по длинной оси 230 км. Внутренний ее контур трассируется дугой р. Сахары, а внешний — р. Чухоной. С юга структура ограничена излучиной долины р. Юдомы. Геологические образования, развитые на поверхности, на уровне эрозионного среза секут структуру, однако анализ разрезов показывает закономерное изменение в ее пределах мощностей и фаций по крайней мере для вендского и раннекембрийского этапов развития. Так, на профилях, пересекающих центральную часть структуры в меридиональном и широтном направлениях (рис. 3), видно, что ближе к центру структуры сокращается общая мощность сарданинской свиты юдомской серии при одновременном увеличении мощности ее нижней части, сложенной песчаниками, и повышении в целом роли терригенного материала в строении разреза. По геофизическим данным [17] в междуречье Аллах-Юнь — Ханда предполагается наличие на глубине крупного батолитоподобного тела гранитов среднепротерозойского возраста. Возможно, с внедрением его связано возникновение сводового поднятия, в центре которого четко фиксируется изолиниями глубин залегания Бас-Диукатский выступ фундамента.

Четвертой крупной кольцевой макроструктурой северной части Алдано-Станового геоблока является Усть-Хандыгская. На снимках она дешифрируется очень неотчетливо, по ориентировке отдельных мелких водотоков, и выделяется в основном по геофизическим данным. С геометрическим ее центром совпадают Хандыгский магнитный максимум и изометричная отрицательная гравитационная аномалия.

Таким образом, при анализе результатов дешифрирования космических снимков Сетте-Дабана и сопредельных территорий в комплексе с геолого-геофизическими данными выявлены некоторые особенности структурного плана, позволяющие восстановить геодинамическую обстановку мезозойского этапа развития изучаемого региона.

1. В пределах южной части Сетте-Дабанской межгеоблоковой системы (Уйско-Майская зона) и сопредельных частей Колымского геоблока (Аллахюнь-Юдомская и Ульинская зоны) выявлены макроструктуры, обязанные своим происхождением мезозойской гранитизации.

2. В пределах собственно Сетте-Дабанской системы (Сетте-Дабанская и Майско-Кыллахская зоны) устанавливаются многочисленные близмеридиональные и дугообразные разломы (взбросы и надвиги), конформные отдешифрированным макроструктурам гранитизации. Отметим, что время последней максимальной активизации движений по основным разломам региона, сформировавшим их как надвиговые и взбросовые структуры, приходится на поздний мезозой [2], т. е. совпадает с эпохой общей тектоно-магматической активизации региона, сопровождавшейся интенсивной гранитизацией фундамента и внедрением многочисленных интрузий гранитоидов.

3. Максимальные амплитуды надвигов вдоль западной границы Сетте-Дабана и увеличение числа надвигов в пределах Майско-Кыллахской зоны наблюдаются в узлах сочленения или сближения макроструктур гранитизации и установленных в пределах Алдано-Станового геоблока и смежных частях Майско-Кыллахской зоны макроструктур — жестких блоков фундамента.

4. На большей части Аллахюнь-Юдомской зоны пластичные терригенные образования «верхоянского комплекса» смяты в простые коробчатые складки [8], и лишь вдоль западных ограничений наиболее крупных макроструктур гранитизации развиты узкие зоны гребневидных складок. Для этой части региона характерны в основном сдвиги, реже взбросы.

5. Несмотря на существенные различия в морфологии и кинематике основных нарушений разрывных и складчатых структур в восточной и западной частях изучаемого региона, формировались они в динамически однородном районе, в условиях горизонтального сжатия [8].

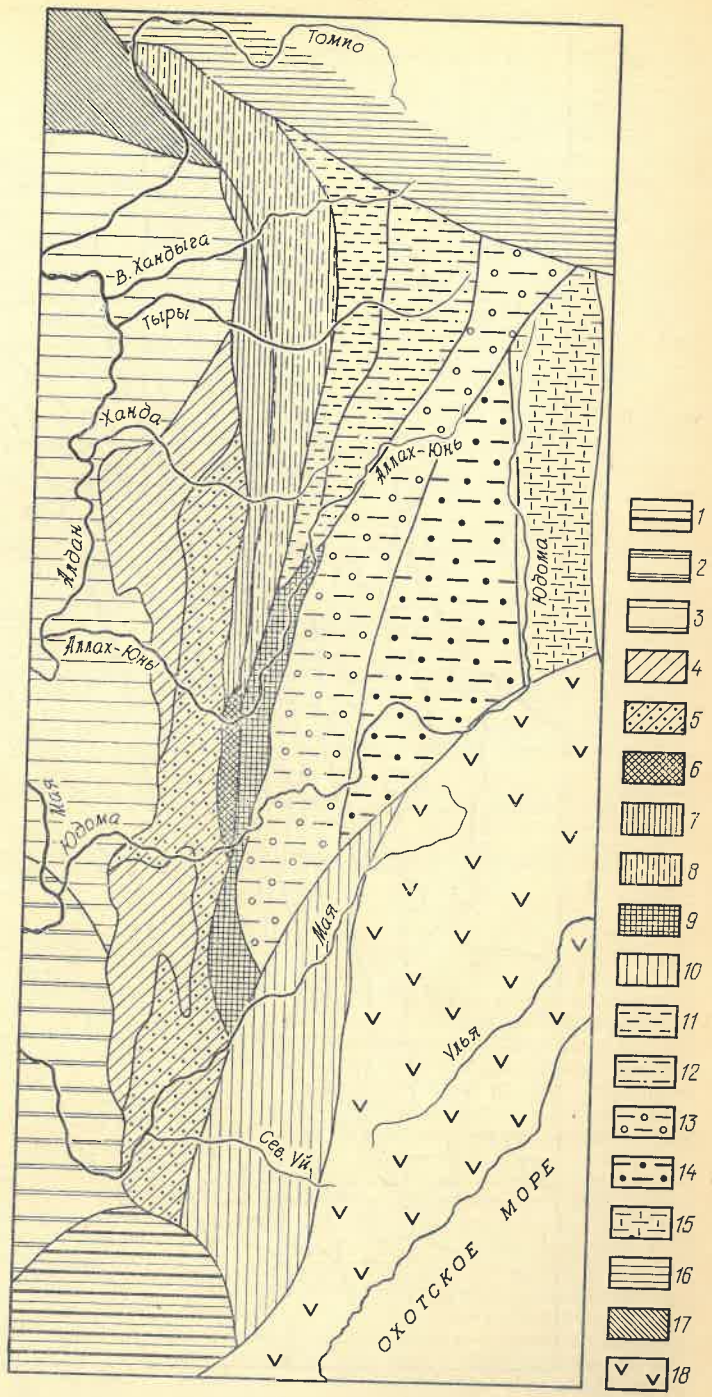


Рис. 1. Схема тектонического районирования Сетте-Дабана и сопредельных территорий

1—3 — Алдано-Становой геоблок, структурные зоны: *1* — Батомгская, *2* — Омнинская, *3* — Алданская; *4—10* — Сетте-Дабанская межгеоблоковая система: *4—6* — Майско-Кыллахская зона (*4* — Горби-Мутуланский, *5* — Горностах-Челатский, *6* — Улаханбамский районы); *7—8* — Сетте-Дабанская зона (*7* — Россомахинский, *8* — Бурхалинский районы): *9* — Иоткан-Аллахюньская зона; *10* — Уйско-Майская зона; *11—17* — Колымский геоблок: *11* — Приседтедабанская зона; *12—15* — Аллахюнь-Юдомская зона (*12* — Тыры-Халыинский, *13* — Уэмляхский, *14* — Акачан-Юдомский, *15* — Верхнеюдомский районы); *16* — Томпонская зона; *17* — Бараинская зона; *18* — Монголо-Охотская межгеоблоковая система, Ульинская зона

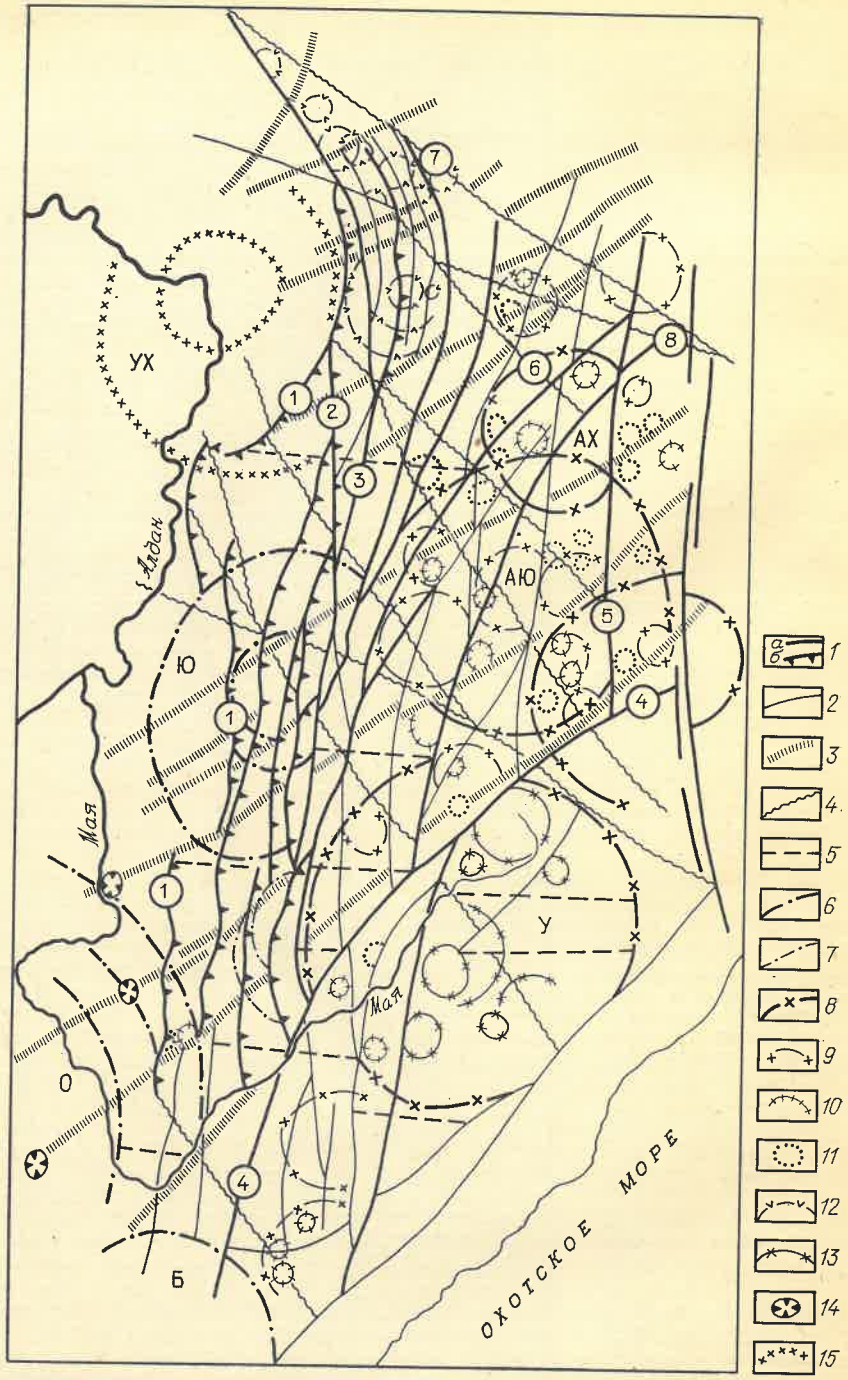


Рис. 2. Схема линейных и кольцевых структур элементов Сетте-Дабана и сопредельных территорий

1 — основные структурообразующие разломы (*а* — сбросы, сдвиги и *б* — взбросы, надвиги); *2* — разломы второго порядка; *3—5* — поперечные разломы (*3* — северо-восточные, *4* — северо-западные, *5* — близширотные); разломные ограничения кольцевых структур различного типа; *6* — куполовидных поднятий фундамента, *7* — то же, предполагаемые, *8* — региональных ареалов гранитизации, *9* — локальных ареалов гранитообразования, *10* — гранитных диапиров, *11* — предполагаемых невскрытых гранитоидных массивов, *12* — предполагаемых центров девонского основного вулканизма, *13* — вулкано-плутонических структур, *14* — щелочных ультраосновных массивов, *15* — кольцевая структура фундамента, устанавливаемая по геофизическим данным. Микроструктуры: О — Омнинская, Б — Батомгская, УХ — Усть-Хандыгская, Ю — Юдомская, АЮ — Аллахюнь-Юдомская, АХ — Аллахюнь-Халыинская, У — Ульинская; цифры в кружках — разломы: 1 — Нелькано-Кыллахский, 2 — Сетте Дабанский, 3 — Бурхалинский, 4 — Майско-Охотский, 5 — Юдомский, 6 — Халыинский, 7 — Тонпо-Менкюленский, 8 — Дыбинский

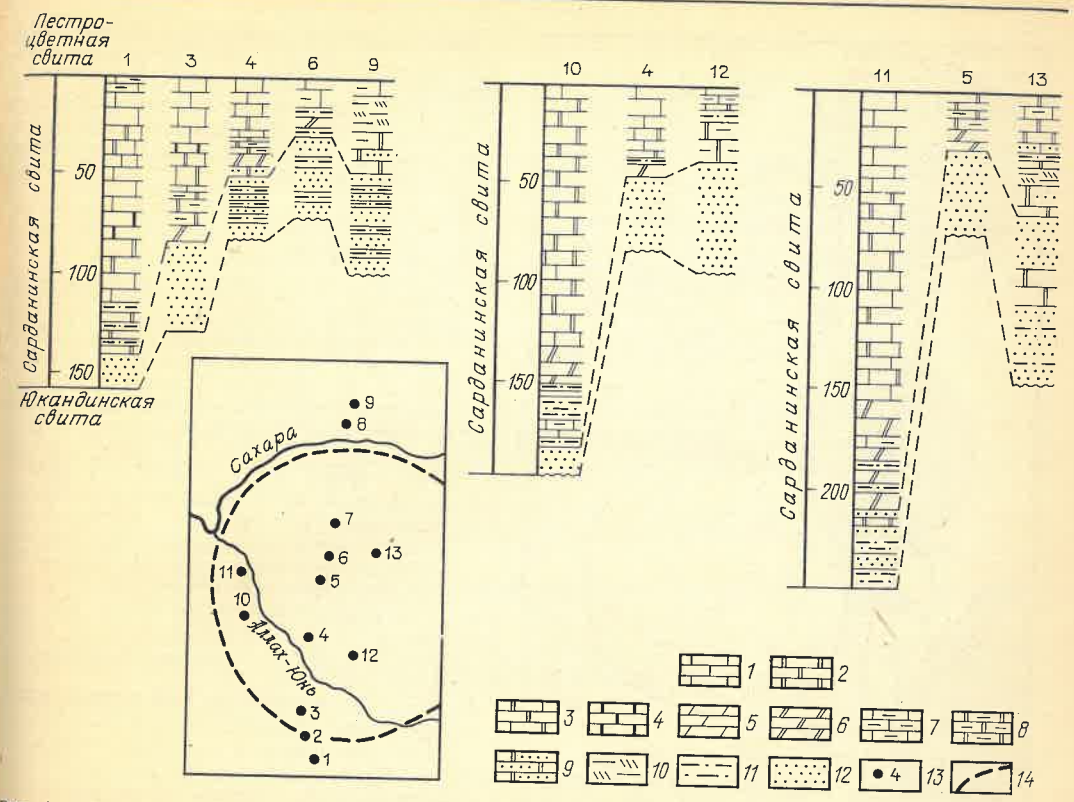


Рис. 3. Схема сопоставления разрезов сарданинской свиты юдомской серии в пределах Юдомской кольцевой структуры [14]

1 — известняки; *2* — доломиты; *3* — доломитизированные известняки; *4* — битуминозные известняки; *5* — известковистые мергели; *6* — доломитовые мергели; *7* — глинистые известняки; *8* — глинистые доломиты; *9* — песчанистые известняки и доломиты; *10* — кремнистые сланцы; *11* — аргиллиты; *12* — песчаники; *13* — местоположение разрезов и их номера; *14* — внутренний контур Юдомской кольцевой структуры

Идею образования всех структур Верхоянья под действием горизонтальных сил высказывали и другие исследователи, однако природа процессов, вызывающих сжатие, обычно не рассматривалась; отмечалось лишь, что горизонтальные сжимающие напряжения связаны со смещением Охотского массива [15]. Напряжения, обусловленные относительными перемещениями блоков земной коры, играли важную роль, создавая фоновые напряжения. В то же время причина формирования рассмотренных выше особенностей строения Сетте-Дабана кроется, по нашему мнению, в процессах эволюции «гранитного» слоя земной коры, сопровождаемых увеличением объема гранитизированных масс. По данным В. В. Белоусова [3], объем породы при гранитизации увеличивается на 10—15 %. Более того, Ф. А. Летников (1975 г.), ссылаясь на ряд авторов, говорит об увеличении объема различного материала при гранитизации на 34—55 %. Метаморфизуемая и гранитизируемая толща стремится «всплыть» через покрывающие образования, развивается процесс глубинного диапиризма, приводящий к нарушению изостатического равновесия. При этом вещество коры стремится переместиться из областей, где ее мощность повышена (что наблюдается при гранитизации), в области с пониженными мощностями. В результате в коре появляются значительные горизонтальные напряжения, которые, однако, не могут вызвать больших смещений участков земной коры [1], а реализуются в периферических частях областей гранитизации. Благоприятные условия релаксации возникающих напряжений оказываются в ослабленных зонах древних разломов, особенно если разрез осадочного чехла представлен чередованием пластичных, аргиллитовых и непластичных, карбонатных пачек.

Исходя из приведенных данных, геодинамическая обстановка формирования рассмотренных выше особенностей структуры Сетте-Дабана и сопредельных территорий представляется следующей (рис. 4). Во время активного сводообразования, вызванного процессами гранитизации, основные горизонтальные напряжения были направлены в стороны от центров гранитизации. Однако наблюдать результаты реализации этих напряжений мы можем лишь в пределах Сетте-Дабана и примыкающих с востока окраинных частях Колымского геоблока, поскольку более восточные области (за пределами изучаемой территории) в конце мезозоя сами представляли собой центры интенсивного вулканизма и гранитизации.

В терригенных же образованиях карбона—перми («верхоянский комплекс»), развитых в Южно-Верхоянском синклинории (Колымский геоблок), влияние взаимно перпендикулярных напряжений, возникающих при пересечении

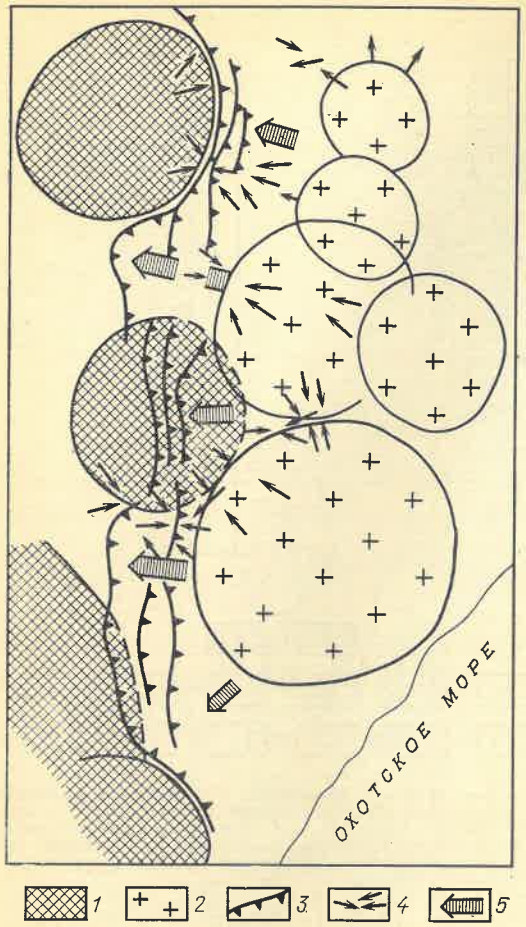


Рис. 4. Геодинамическая схема формирования надвиговых структур Сетте-Дабана

1 — древние жесткие блоки фундамента; *2* — области гранитизации; *3* — основные надвиговые структуры; *4* — векторы напряжений сжатия, по [8]; *5* — суммарные векторы напряжений сжатия

ареалов гранитизации, выразилось в формировании локально развитой гребневидной складчатости и сдвиговых деформаций. При однонаправленном воздействии напряжений происходило сложение сжимающих усилий. Основной суммарный вектор распространяющихся от центров гранитизации усилий был ориентирован в западном направлении, где к тому времени уже существовали овальные глыбы в пределах Алдано-Станового геоблока, явившиеся жесткими упорами для распространяющегося фронта сжатия. В этих условиях относительно пластичные терригенные образования «верхоянского комплекса» на границе с более компетентными толщами протерозоя и нижнего — среднего палеозоя, слагающими Сетте-Дабанскую систему, сминались в узкие гребневидные складки, а внутри самих слоистых толщ протерозоя и палеозоя, смятых в простые линейные складки и разбитых продольными разломами, происходили послойные срывы и формировалась система надвиговых структур.

Образовавшиеся в конце мезозоя кольцевые структуры сводового типа продолжают развиваться и в новейшее время, о чем свидетельствует концентрация напряжений сжатия в местах сочленения кольцевых макструктур (см. рис. 4), подтверждаемая статистической обработкой материалов по трещиноватости [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артюшков Е. В.* Происхождение больших напряжений в земной коре.— Изв. АН СССР. Физика земли, 1972, № 8, с. 3—25.
2. *Архипов Ю. В., Волкодав И. Г., Ян-Жиншин В. А.* Надвиги Верхояно-Колымской складчатой системы. — В кн.: Современные тектонические концепции и региональная тектоника Востока СССР. Якутск, 1980, с. 94—96.
3. *Белоусов В. В.* О некоторых особенностях механизма тектонических деформаций. — В кн.: Очерки структурной геологии сложно дислоцированных толщ. М., Недра, 1970, с. 5—31.
4. *Биланенко В. А., Шаров Г. Н., Ян-Жиншин В. А.* Космофототектоническая карта Якутской АССР. — Исслед. Земли из космоса, 1982, № 1, с. 25—31.
5. *Ботов Л. В., Ставцев А. Л.* Особенности глубинного строения юго-востока Сибирской платформы и смежных областей. — Сов. геология, 1975, с. 42—50.
6. *Геолого-геофизическая* интерпретация результатов дешифрирования телевизионных космических снимков Якутии/Г. Н. Шаров, В. А. Ян-Жиншин, Г. Д. Балакшин и др. — В кн.: Тектоника восточной части Сибирской платформы. Якутск, 1979, с. 17—23.
7. *Гусев Г. С.* Тектоническое районирование восточной окраины Алданской антеклизы. — В кн.: Тектоника, стратиграфия и литология осадочных формаций Якутии. Якутск, 1968, с. 41—50.
8. *Гусев Г. С.* Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезоид. М., Наука, 1979.
9. *Кольцевые* структуры юго-востока Сибирской платформы и связь с ними разрушенных залежей нефти/Б. С. Неволин, В. Б. Агентов, Ю. Е. Преображенский и др.— Экспресс-информация. ВИЭМС. Сер. Общая и регион. геология, геол. картирование, 1981, с. 1—13.
10. *Космогеологическая* карта СССР м-ба 1 : 2 500 000. Гл. ред. Е. А. Козловский. М., изд. Мингео СССР, 1984.
11. *Красный Л. И.* Глобальная система геоблоков. М., Недра, 1984.
12. *Макаров В. И., Стрельников С. И.* Некоторые вопросы методики и результаты изучения линеаментов и кольцевых образований территории СССР. — Исслед. Земли из космоса, 1982, № 2, с. 60—69.
13. *Методическое* пособие по геологической съемке м-ба 1 : 50 000. Изучение тектонических структур/В. Д. Вознесенский, А. Н. Балашов, Н. В. Горлов и др. Л., Недра, 1984.
14. *Новые* данные о строении и корреляции юдомской серии Кыллахского поднятия/А. В. Мезенцев, А. П. Несенко, В. И. Сухоруков и др. — Геология и геофизика, 1978, № 3, с. 19—28.
15. *Ставцев А. Л.* Механизм образования складчатости и разрывных структур Южного Верхоянья. — Докл. АН СССР, 1971, т. 200, № 6, с. 1411—1414.
16. *Ставцев А. Л., Ботов Л. В.* Новые данные о глубинном строении юго-западной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Экспресс-информация. ВИЭМС. Сер. Общая и регион. геология. Геол. картирование. 1975, № 9, с. 1—14.
17. *Структурная* позиция рудного района свинцово-цинковых месторождений Сардана и Уруй в Юго-Восточной Якутии (по геолого-геофизическим данным)/А. А. Фельдман, Г. В. Ручкин, П. В. Слепнев и др. — В кн.: Прогнозирование эндогенных месторождений по геофизическим данным. М., 1975, с. 16—27.
18. *Филатова Н. И., Агентов В. Б., Неволин Б. С.* Геологическая природа и металлогенические особенности эндогенных кольцевых структур зоны перехода континент — океан. — В кн.: 27 МГК. Т. 18. М., Наука, 1984, с. 88—100.

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 552.08 : 53 : 553.94(477.61/.62)

В. В. ГРЕЧУХИН (ВНИИгеофизика), Б. И. ВОЕВОДА,
В. Н. ДАРАГАН, А. В. САВЧЕНКО, Л. А. ИВАНОВ (ВНИИГИС)

Петрофизические исследования угленосных отложений Донецкого бассейна

В Донецком бассейне отмечаются все марки углей от бурых до антрацитов включительно. Из 300 пластов и пропластков около 100 имеют мощность от 0,45 до 2,5 м. Суммарная площадь распространения коксующихся углей по поверхности эрозионного среза карбона составляет около 15 % от всей территории бассейна (рис. 1).

Коксующиеся угли сосредоточены главным образом в Донецко-Макеевском угленосном районе, который расположен на южном крыле Кальмиус-Торецкой котловины, охватывающей всю юго-западную часть Донецкого бассейна. Центральная и особенно восточная части района отличаются сложным тектоническим строением, западная — спокойным залеганием пластов и незначительными разрывными нарушениями.

Донецко-Макеевский район характеризуется высокой угленосностью. Из общей суммы запасов в пластах мощностью 0,45 м и более на долю коксующихся углей (Ж, К, ОС) приходится 43,1 %, газовых 29,2 %, длиннопламенных 8,6 %, тощих 14,5 %, антрацитов 4,6 % [1].

Детальные геолого-геофизические исследования выполнены на участке Бутовский — Глубокий-2 площадью около 35 км^2, который расположен в центре Донецко-Макеевского угленосного района. Каменноугольные отложения здесь характеризуются моноклинальными залеганием с падением на север под углом 5—12°.

Литологический состав угленосных пород изучается в основном путем визуального описания керна разведочных скважин. Лабораторным анализам подвергается лишь небольшое количество образцов, как правило, крепких пород, поскольку слабые породы при бурении часто разрушаются и размываются. Практикуемыми геологическими методами документации керна и геофизическими исследованиями скважин выделяют в их разрезах угольные пласты и только четыре литологических типа (песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки) без определения их вещественного состава.

Новая методика изучения литологии месторождений каменных углей по данным геофизических исследований скважин использует такие физические параметры пород, как пористость общая ($K_п$), плотность минералогическая ($\delta_м$), плотность объемная абсолютно сухих ($\delta_с$) и насыщенных водой ($\delta_н$) пород, скорость распространения продольных упругих волн (v_p), удельное

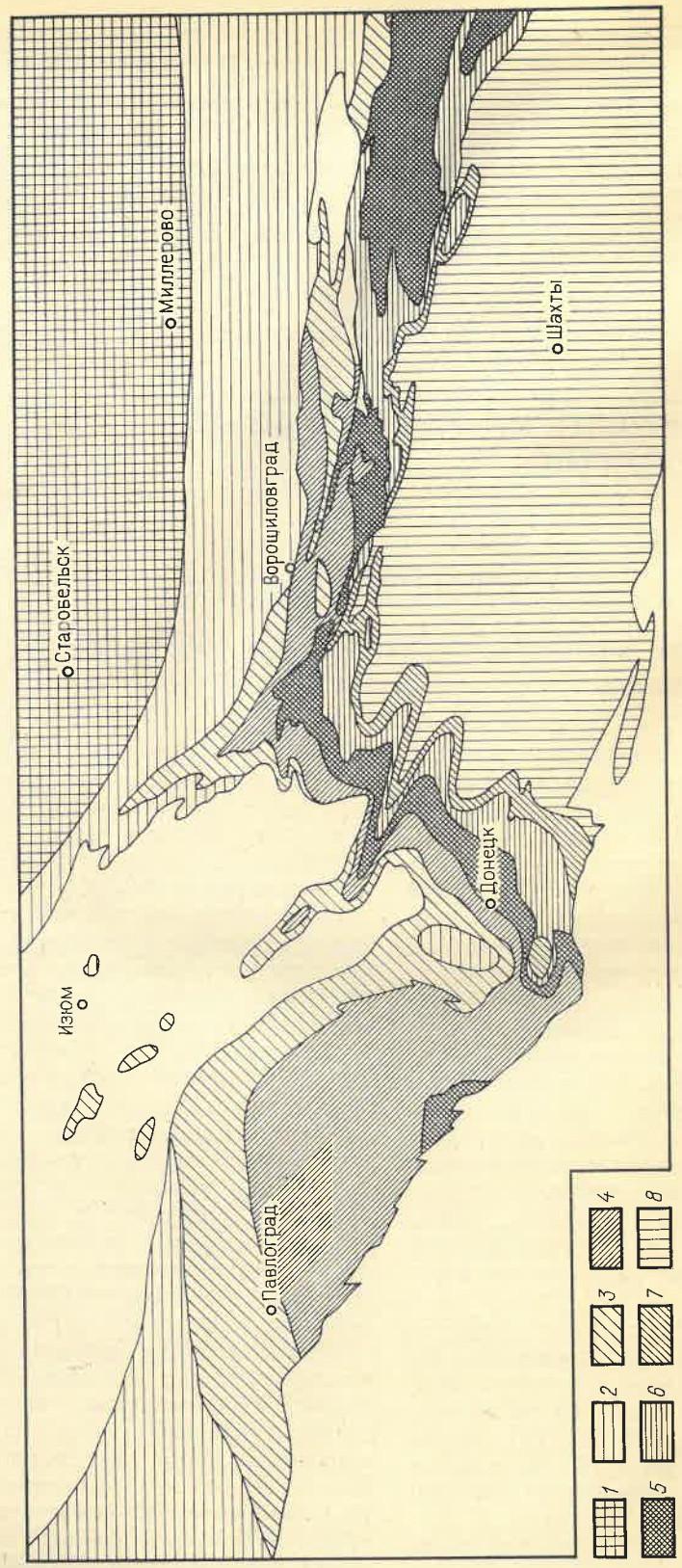


Рис. 1. Схема распространения групп метаморфизма углей на поверхности карбона в Донбассе (границы кроме групп БД—$Б_3$ приведены по М. Л. Левенштейну)

1 — блестящие бурые (Б); *2* — переходные от бурых к длиннопламенным (ДБ); *3* — длиннопламенные (Д); *4* — газовые (Г); *5* — жирные, коксовые, отощенноспекающиеся (Ж—К—ОС); *6* — тощие (Т); *7* — полуантрациты (ПА); *8* — антрациты (А)

электрическое сопротивление ($\rho_п$), интенсивность естественного гамма-излучения (*I*). Однако физические свойства пород не имеют однозначной связи с их вещественным составом и не позволяют в общем случае детально изучать литологию пород. Это объясняется тем, что физические свойства пород зависят от двух групп факторов: первичных (генетических), связанных с вещественным составом пород, и вторичных, обусловленных процессами их преобразования, а также влиянием подземных вод и поровых растворов. Поэтому в общем случае отсутствует физическая основа для решения поставленной задачи с помощью геофизических методов. Попутно заметим, что в аналогичном положении оказываются многие задачи угольной геологии (качественные параметры углей, физико-механические свойства и устойчивость пород и др.).

Новый принцип физических основ угольной промысловой геофизики. Для преодоления указанных трудностей детального изучения литологии, вещественного состава пород и решения многих других задач угольной геологии с помощью геофизических методов исследования скважин потребовалось изучить закономерности вещественной, петрографической, геофизической и эпигенетической природы пород и углей, взаимные их компонентные связи.

В результате помимо первичных и вторичных факторов, определяющих физические свойства пород, выделены еще две группы, названные нами динамической и статической. Вещественный, гранулометрический и петрографический составы образуют статическую группу факторов, которые изменяются весьма медленно и в частных случаях могут приниматься постоянными. Исключением являются органические вещества (в том числе уголь), они изменяются быстрее, чем вмещающие породы.

Петрофизические, геофизические и эпигенетические показатели составляют динамическую группу факторов, которые являются весьма подвижными и изменяются относительно быстро. Исключения составляют показатели минералогической плотности и естественной радиоактивности (интенсивность гамма-излучения), которые изменяются весьма медленно и в частных случаях могут рассматриваться практически как постоянные.

С помощью выявленных закономерностей изменения углей и вмещающих пород оказалось возможным найти пути решения геологических задач, для которых в общем виде нет физической основы. Петрофизические и геофизические исследования показали, что нерешаемую в общем виде геологическую задачу можно привести к частным случаям, при которых она однозначно решается.

Этот принцип практически реализуется с помощью критерия K_1, согласно которому в типовом петрофизическом разрезе угольных бассейнов геосинклинальной группы выделяются интервалы, где изменения динамических показателей (физических свойств) одноименных пород, связанных с компонентной эпигенеза, меньше точности измерения их в разрезах скважин геофизическими методами [2, 3, 4]. В таких интервалах все изменения физических свойств практически обусловлены статическими факторами (гранулометрическим, вещественным и петрографическим составами), что обеспечивает однозначность решений геологических задач. Для учета изменений физических свойств пород по площади выделяются участки, удовлетворяющие названному критерию. Указанные интервалы разреза названы литолого-геофизическими ступенями, а участки по площади — литолого-геофизическими участками. В пределах литолого-геофизических ступеней и участков однозначно решаются многие геологические задачи.

Для выделения в разрезах скважин различных литологических типов в пределах указанных литолого-геофизических участков и ступеней используется критерий K_2, согласно которому каждый литотип отличается от остальных хотя бы по одному параметру на значение, не меньшее, чем двухкратная точность измерения его геофизическими методами.

Литотип, принятый в петрографии, характеризуется гранулометрическим и вещественным составом. Литотип, выделяемый в разрезе скважины геофизическими методами, имеет дополнительные минералогические, геохимиче-

ские, петрофизические и эпигенетические показатели. Поэтому он не может отождествляться с обычным литотипом и назван петрофизическим типом [2, 3, 4]. Именно петрофизический, а не литологический тип всесторонне характеризует породу, ее физико-механические, прочностные, технологические свойства, а также устойчивость, обрушаемость и пучение в горных выработках.

На каждом участке разведки для расчленения его разреза на петротипы, определения их вещественного состава, построения рабочих палеток и составления литолого-геофизической классификации угленосных пород первоначально используются параметрические скважины.

С учетом нового принципа физических основ составлены методические руководства изучения литологии и вещественного состава, физико-механических свойств угленосных пород и прогнозирования их устойчивости, обрушаемости и пучения. Они успешно используются при разведке Печорского, Донецкого, Кузнецкого и других бассейнов [3, 4].

Выделение петрофизических типов в разрезах скважин и определение их вещественного состава. Для характеристики толщи пород с коксующимися углями исследован участок Бутовский — Глубокий-2. В соответствии с указанными принципами в разрезе толщи мощностью 1500 м выделено пять литолого-геофизических ступеней (из них четыре в толще с коксующимися углями). Площадь этого участка небольшая (35 км^2), что соответствует литолого-геофизическому участку. На ней пробурено четыре параметрические скважины (две методические и две контрольные), в которых были проведены геофизические исследования стандартным комплексом методов и отобраны образцы керна с привязкой по глубинам к геофизическим диаграммам. На образцах керна были выполнены лабораторные исследования: определялись геохимический состав и физические свойства, а также гранулометрический и вещественный составы по шлифам. В результате установлено, что осадочные породы угленосных отложений состоят из трех компонентов: кластического материала, глинистого и карбонатного цементов. Содержание их в петрофизических типах определяется по шлифам в процентах.

По геофизическим диаграммам согласно критерию K_2 выделены пласты и прослои различных петрофизических типов пород. По результатам лабораторных и петрографических определений они получили вещественную характеристику типа и соответствующее название. С помощью известных методик по геофизическим диаграммам определяются также значения физических параметров выделенных на них пластов и пропластков [2].

По указанным лабораторным, петрографическим, петрофизическим и геофизическим определениям строят треугольную диаграмму, стороны которой являются осями минерального состава: кластического материала, глинистого и карбонатного цемента. На диаграмму наносят результаты всех замеров вещественного состава и физических свойств пород литолого-геофизической ступени в параметрической скважине и приводят соответствующие изолинии, а также строят границы петротипов с учетом содержания карбонатного цемента в породах и размеров зерен (рис. 2).

Приведенная треугольная диаграмма является палеткой, пригодной для детального выделения в разрезе литолого-геофизической ступени петрофизических типов и определения их вещественного состава. Для практического пользования палеткой на нее наносят точки значений физических параметров, измеренных в скважине на исследуемом пласте и приведенных к истинным значениям. Через эти точки проводят изолинии, которые пересекутся в одной точке или образуют небольшой разброс — многоугольник погрешностей. Данная точка пересечения изолиний, или центр многоугольника погрешностей определяет в координатах треугольника усредненные значения параметров пласта и в соответствии с ними устанавливаются название петрофизического типа, его минеральный состав (процентное содержание кластического материала, глинистого и карбонатного цементов) и параметры, которые геофизическими методами в данной скважине не измерялись (на пример, $K_п$, $\delta_м$, $\delta_с$). Аналогичные палетки

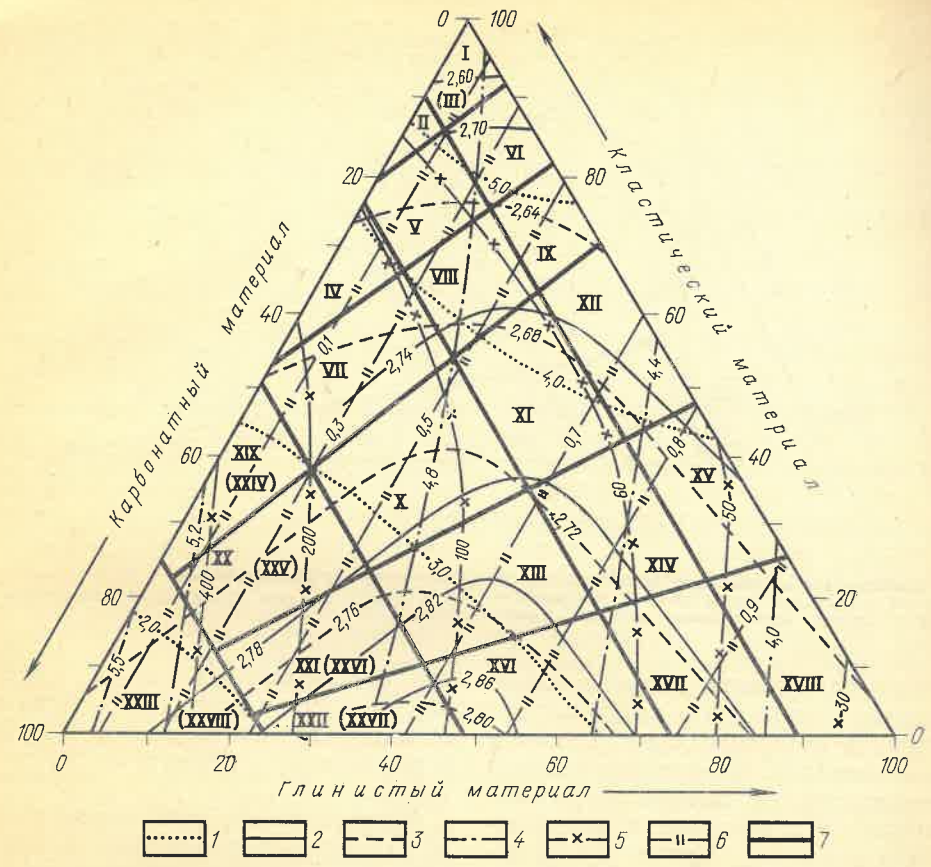


Рис. 2. Палетка для расчленения разрезов скважин на петрофизические типы и определения их вещественного состава, участок Бутовский — Глубокий-2. Стадия эпигенеза VIII (Ж), литолого-геофизическая ступень I

1 — пористость общая $K_п$, %; *2* — плотность минералогическая $\delta_м$, 10^3 кг/м^3; *3* — объемная плотность насыщенных водой пород $\delta_н$, 10^3 кг/м^3; *4* — скорость распространения упругих продольных волн v_p, км/с; *5* — удельное электрическое сопротивление $\rho_п$, Ом·м; *6* — естественная радиоактивность ΔI_γ, отн. ед.; *7* — границы петрофизических типов, римские цифры — петрофизические типы (см. табл. 1)

строятся для каждой литолого-геофизической ступени.

На треугольной диаграмме петрофизические типы с содержанием карбонатного материала более 50 % имеют двойную нумерацию. Это свидетельствует о существовании двух петрофизических типов, идентичных по вещественному составу и петрофизическим характеристикам, но различных по генезису. Так, известняки (петротипы XXV—XXIX) являются преимущественно морскими мелководными образованиями, а карбонатные породы XX—XXIV) присутствуют в отложениях всех типов фаций. Кроме того, известняки характеризуются выдержанностью на площади бассейна и, сохраняя при этом определенный комплекс органических остатков и литологические особенности, являются хорошими маркирующими горизонтами. Карбонатные конкреции локально ограничены по площади. Поэтому указанные парные петрофизические типы легко разделяются по геофизическим диаграммам методом корреляции.

Аналогичным образом строится треугольная диаграмма для углей и углистых пород, стороны которой являются осями вещественного состава углей: органического вещества, глинистого и кластического материалов (рис. 3).

Литолого-геофизическая классификация пород, вмещающих коксующиеся угли. Все угленосные породы участка Бутовский — Глубокий-2, разделены по геофизическим данным на 28 петрофизических типов, охарактеризованных показателями гранулометрии, мине-

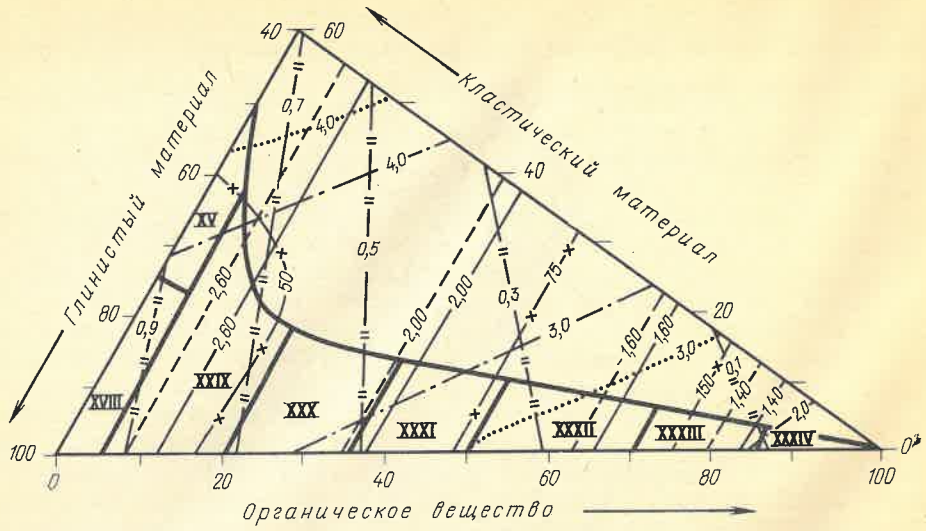


Рис. 3. Палетка для определения вещественного состава углей и углистых пород участка Бутовский — Глубокий-2. Стадия метаморфизма VIII (Ж), литолого-геофизическая ступень I

Усл. обозн. см. рис. 2; петрофизические типы см. в табл. 3

рального (содержание кластического материала, глинистого и карбонатного цементов) и геохимического составов (14 показателей), физических свойств (8 показателей) и эпигенеза (стадия и ступень). Эти показатели используются для изучения прочностных, деформационных, технологических, структурных и других свойств пород и выявления месторождений полезных ископаемых.

На основании указанных данных составлены петрографическая и геохимическая (таблицы 1, 2), петрографическая характеристики углей и углистых пород (табл. 3), вещественного состава и физических свойств угленосных пород (рис. 4). Таблицы 1, 2, 3 и рис. 4 содержат литолого-геофизическую классификацию первой ступени толщи, включающей коксующиеся угли участка Бутовский — Глубокий-2.

Петрофизические типы согласно классификации расположены от крупнозернистых к средне-мелко-тонкозернистым терригенным породам и затем известнякам. При этом с увеличением номера петротипа терригенных пород наблюдается возрастание содержания глинистого цемента от 0 до 100 % и уменьшением кластического материала от 100 % до 0 и периодическое возрастание от 0 до 50 % карбонатного цемента при переходе от глинистого к карбонатному цементу. В известняках и карбонатных породах содержание глинистого цемента и кластического материала изменяется от 0 до 50 %, а карбонатного цемента от 50 до 75—100 %.

Физические свойства пород в разрезе данной литолого-геофизической ступени изменяются в зависимости от их вещественного состава. Общая пористость терригенных пород уменьшается от 6—4,8 % (крупно-, средне- и мелкозернистые песчаники с глинистым цементом) до 2,6 %—2,8 % (песчаники, алевролиты, аргиллиты с карбонатным цементом). Пористость известняков изменяется от 2,8 до 1,0 % (см. рис. 4).

Минералогическая плотность терригенных пород возрастает от $2{,}68 \cdot 10^{-3}$ до $2{,}75 \cdot 10^3$ кг/м^3 (песчаники с глинистым цементом) и от $2{,}76 \cdot 10^3$ до $2{,}87 \times 10^3$ кг/м^3 (аргиллит с карбонатным цементом); известняков — от 2,72 до $2{,}78 \cdot 10^3$ кг/м^3 (известняк песчаный и алевритовый) и от $2{,}78 \cdot 10^3$ до $2{,}87 \times 10^3$ кг/м^3 (известняк глинистый) (см. рис. 4).

Объемная плотность насыщенных водой терригенных пород (в естественном залегании) $2{,}58 \cdot 10^3$—$2{,}68 \cdot 10^3$ кг/м^3 (песчаник крупно-, средне- и мелкозернистый с глинистым цементом), $2{,}66 \cdot 10^3$—$2{,}72 \cdot 10^3$ кг/м^3 (алевролит с карбонатным цементом) и $2{,}72 \cdot 10^3$—$2{,}85 \cdot 10^3$ кг/м^3 (карбонатная порода, аргиллит карбонатный).

Объемная плотность насыщенных водой известняков изменяется от $2{,}68 \times 10^3$ (песчаный) до $2{,}75 \cdot 10^3$ кг/м^3 (глинистый).

Удельное электрическое сопротивление терригенных пород 40—60 Ом·м (аргиллит, алевролит с глинистым цементом), 60—90 Ом·м (алевролит с карбонатным цементом, песчаник крупно-, средне- и мелкозернистый с глинисто-карбонатным цементом), 90—120 Ом·м (песчаник с карбонатным цементом) (см. рис. 4). Указанные сопротивления занижены (аргиллитов на 25 %, песчаников и известняков на 65 %) по сравнению со значением их на сводном петрофизическом разрезе соответствующих стадий эпигенеза пород из-за повышенной минерализации пластовых вод.

Следует отметить большой диапазон изменения удельного электрического сопротивления различных известняков. Так, глинистые известняки с повышенной трещиноватостью и минерализацией подземных вод характеризуются невысокими значениями (100—300 Ом·м). Такие известняки в значительной степени замещены доломитами, что обусловливает повышенную пористость их. В массивных известняках однородного и преимущественно кальцитового состава возникает микротрещиноватость, которая тоже приводит к снижению их сопротивления. Кроме того, распространены известняки, характеризующиеся сопротивлением 500—1500 Ом·м, в которых не отмечается трещиноватость и замещение доломитом.

Скорость распространения упругих волн (см. рис. 4) в терригенных породах 3,6—4,6 км/с (аргиллит, алевролит), 4,6—5,2 км/с (песчаник крупно-, средне- и мелкозернистый с глинистым и карбонатно-глинистым цементом); в известняках — от 4,8 до 5,4 км/с (алевролитовых, песчаных).

Интенсивность естественного гамма-излучения в терригенных породах $43 \cdot 10^{-14}$ — $112{,}6 \cdot 10^{-14}$ А/кг (песчаник крупнозернистый с глинистым и карбонатно-глинистым цементом), $112{,}6 \times 10^{-14}$—$179{,}2 \cdot 10^{-14}$ А/кг, (алевролит с карбонатным и глинистым цементом) $179{,}2 \cdot 10^{-14}$—$213{,}9^{-14}$ А/кг^2 (алевролит с глинистым цементом и аргиллит); в известняках она составляет $42 \cdot 10^{-14}$—$92 \cdot 10^{-14}$ А/кг (песчаных) и $93{,}2 \times 10^{-14}$ А/кг (глинистых).

Помимо абсолютных значений интенсивности естественного гамма-излучения с целью исключения ошибок (аппаратурных, эталонировки и систематических в процессе регистрации), использовались относительные

$$\Delta I = \frac{I_\gamma^x - I_\gamma^{min}}{I_\gamma^{max} - I_\gamma^{min}},$$

где I_γ^x, I_γ^{min}, I_γ^{max} — интенсивности естественного гамма-излучения соответственно в изучаемом пласте, минимальное и максимальное значения в изучаемом разрезе.

Химический состав выделенных по геофизическим результатам и рассмотренных выше петротипов приводится в табл. 2. Для каждого петротипа лабораторным путем определено по керну процентное содержание наиболее распространенных в петротипах 14 элементов и их окислов.

Терригенные породы слагают преимущественно следующие окислы: SiO_2 (55—83 %), Al_2O_3 (3—20 %), CaO (2—17 %), CO_2(2—17 %), FeO (0,9—11 %), MgO (0,4—3,5 %), Fe_2O_3 (0,1—2,7 %), K_2O (0,5—3,2 %), N_2O (0,8—2,1 %). Содержание остальных окислов (TiO_2, P_2O_5, MnO, SO_3) менее 1 %. Известняки и карбонатные породы содержат наибольшее количество окислов CaO (30—44 %), CO_2 (27—38 %), SiO_2 (11—28 %), Al_2O_3 (3—9 %), FeO (1—3,5 %), Fe_2O_3 (1—2,1 %) и менее 1 % остальных окислов.

Если при разведке угольного месторождения или участка сохраняются количество и состав петрофизических типов в разрезах всех скважин и их вещественная и петрофизические характеристики, то и химическая характеристика их также не меняется.

Угли и углистые породы различаются количественным содержанием органического и минерального вещества. В последних выделяют глинистое вещество, сульфиды (FeS_2), карбонатный цемент и кластический материал. Основным компонентом среди них является глинистое вещество. Содержание сульфидов в угле и углистых породах до 5 %, карбонатного цемента в углистых породах до 15 %, а в углях до 5 %. Содержание кластического материала в углистых породах из-

Таблица 1

Петрографическая характеристика угленосной толщи участка Бутовский — Глубокий-2, стадия эпигенеза пород VIII (Ж), литолого-геофизическая ступень I

Петрофизический тип		Петрографическая характеристика								Распространенность петротипов в разрезе, %	
Номер	Наименование	Преобладающий размер частиц, мм	Вещественный состав, %			Цвет	Структура	Текстура	Тип цемента	по мощности слоев	по количеству слоев
			глинистый цемент	карбонатный цемент	кластический материал						
I	Конгломерат	>1,0	0—7	0—10	85—100	Пестрый	Псефитовая	Массивная	Поровый	0,25	0,25
II	Песчаник крупнозернистый с карбонатистым цементом	0,50—1,0	0—3	10—20	80—90	Светло-серый	Псаммитовая крупнозернистая	Массивная неяснослоистая	Базально-поровый	0,25	0,25
III	Песчаник крупнозернистый с глинистым цементом	0,50—1,0	0—7	0—10	86—97	То же	То же	Слоистая, массивная	Поровый	3,00	5,00
IV	Песчаник среднезернистый с карбонатным цементом	Серый 0,25—0,50	0—8	24—47	53—74	„	Псаммитовая, среднезернистая	Массивная, скрытослоистая	Порово-базальный, коррозионный	0,25	0,50
V	Песчаник среднезернистый с карбонатно-глинистым цементом	0,25—0,50	0—13	10—25	70—86	Светло-серый до белого	То же	Слоистая, массивная	Базально-поровый, коррозионный	1,00	2,00
VI	Песчаник среднезернистый с глинистым цементом	0,25—0,50	3—18	0—10	76—92	То же	„	То же	Поровый	4,00	7,00
VII	Песчаник мелкозернистый с карбонатно-глинистым цементом	0,20—0,25	0—20	25—50	39—66	Светло-серый, серый	Псаммитовая микрозернистая алеврипсаммитовая	Неясно-слоистая массивная	Базальный, коррозионный	4,00	7,00
VIII	Песчаник мелкозернистый с глинисто-карбонатистым цементом	0,10—0,25	8—26	10—25	54—76	Серый светло-серый	То же	Слоистая массивная	Порово-базальный, коррозионный	2,80	1,50
IX	Песчаник мелкозернистый с глинистым цементом	0,10—0,25	14—30	0—10	63—82	То же	„	Слоистая, неяснослоистая, массивная	Поровый, базально-поровый	15,00	17,0
X	Смешанная порода алеврито-карбонатно-глинистая	0,05—0,10	11—39	25—50	23—54	Серый	Алевролитовая	Неясно-слоистая	Базальный, коррозионный	0,25	1,50
XI	Алевролит с глинисто-карбонатистым цементом	0,05—0,10	20—48	10—15	35—63	„	„	Слоистая, неяснослоистая	Базальный, порово-базальный, коррозионный	1,00	1,50
XII	Алевролит с глинистым цементом	0,05—0,10	27—53	0—10	42—70	„	Алевритовая	Слоистая, неяснослоистая	Порово-базальный	5,00	15,00
XIII	Смешанная порода карбонатно-глинисто-алевритистая	0,01—0,05	27—57	25—50	10—35	„	Алевропелитовая, алевритовая	Массивная, слоистая	Базальный, коррозионный	0,25	1,50
XIV	Смешанная порода глинисто-алеврито-карбонатистая	0,01—0,05	46—68	10—25	17—42	„	То же	Неясно-слоистая	То же	0,25	1,50
XV	Аргиллит алевритовый	0,01—0,05	48—75	0—10	22—48	„	„	Тонкослоистая, неясно-слоистая	Базальный	23,00	19,0
XVI	Аргиллит карбонатный	<0,01	40—74	0—10	0—18	Серый до темно-серого	Пелитовая	Неясно-слоистая	„	0,50	0,50
XVII	Аргиллит карбонатистый	<0,01	58—89	10—25	0—22	То же	То же	Скрыто-слоистая, слоистая	„	1,00	1,50
XVIII	Аргиллит глинистый	<0,01	68—100	0—10	0—25	Темно-серый	„	Тонкослоистая	„	36,00	18,00
XIX	Карбонатная порода (конкреция) песчаная	0,10—0,25	0—11	50—75	23—50	Светло-серый до серого	Псаммитовая, микрозернистая	Массивная	Базальный, коррозионный	0,10	0,25
XX	Карбонатная порода (конкреция) алевритовая	0,05—0,10	2—26	50—75	12—38	Серый	Алевритовая, микрозернистая	„	То же	0,10	0,25
XXI	Карбонатная порода (конкреция) глинисто-алевритистая	0,01—0,05	13—40	50—75	3—23	„	То же	„	Базальный	0,25	0,25
XXII	Карбонатная порода (конкреция) глинистая	<0,01	22—50	50—75	0—10	Серый до темно-серого	Пелитовая Микрозернистая	„	„	0,25	0,25
XXIII	Карбонатная порода (конкреция)	<0,01	0—25	75—100	0—25	Серый	Микрозернистая	„	„	1,00	1,00
XXIV	Известняк песчаный	0,05—0,10	0—11	50—75	23—50	„	Микрозернистая, псаммитовая	Массивная, неясно-слоистая	Базальный, коррозионный	0,15	0,25
XXV	Известняк алевритовый	0,05—0,10	2—26	50—75	12—38	„	Микрозернистая, алевритовая	То же	То же	0,15	0,25

Продолжение табл. 1

Петрофизический тип		Петрографическая характеристика							
		Преобладающий размер частиц, мм	Вещественный состав, %			Цвет	Структура	Текстура	Тип цемента	Распространенность петротипов в разрезе, %	
Номер	Наименование		глинистый цемент	карбонатный цемент	кластический материал					по мощности слоев	по количеству слоев
XXVI	Известняк глинисто-алевритистый	0,01—0,05	13—40	50—75	3—23	Серый	Микрозернистая, алевропелитовая	Массивная, слоистая	Базальный	0,25	0,25
XXVII	Известняк глинистый	<0,01	22—50	50—75	0—10	Серый до темно-серого	Микрозернистая, пелитовая	То же	"	0,25	0,25
XXVIII	Известняк	—	0—25	75—100	0—25	Серый	Микрозернистая	Массивная, неяснослоистая	"	1,00	1,00

меняется от 0 до 20 %, а в углях от 0 до 5 %. (см. табл. 3).

Выделенные петрофизические типы в разрезе литолого-геофизической ступени I распространены весьма неравномерно (см. табл. 1). Наиболее распространены по суммарной мощности аргиллиты (36 %), аргиллиты алевролитовые (23 %) и песчаники мелкозернистые с глинистым цементом (15 %), а менее (2—5 %) алевролиты с глинистым цементом, песчаники средне- и крупнозернистые с глинистым цементом, аргиллиты и алевролиты с глинисто-карбонатистым цементом и др. Наименее развиты известняки, карбонатные породы, угли, углистые аргиллиты (0,25—1,5 %). По суммарному количеству пластов и прослоев петротипы распространены следующим образом: аргиллиты 18 %, аргиллиты алевролитовые 19 %, песчаники мелкозернистые с глинистым цементом 14 %, песчаники среднезернистые с глинистым цементом 7 %, песчаники крупнозернистые с глинистым цементом 5 %, другие породы 0,25—2 %.

Аналогично составляется литолого-геофизическая классификация пород и углей для других ступеней.

Изложенные закономерности изменения физических свойств пород толщи, содержащей коксующиеся угли стадии метаморфизма VIII (Ж), ступени I на участке Бутовский — Глубокий-2, распространяются на все районы Донецкого бассейна с углями указанной стадии и ступени.

Постоянство физических свойств определенных петрофизических типов в разрезе данной литолого-геофизической ступени по площади бассейна обосновывается следующим принципом: при одинаковых степенях регионального метаморфизма углей и эпигенеза пород одинаково изменяются физические свойства (пористость, объемная плотность, скорость распространения упругих волн, удельное электрическое сопротивление) углей и вмещающих пород различных месторождений независимо от их геологического возраста. При этом следует сопоставлять угли определенного петрографического состава и с одинаковыми минеральными примесями, а петрофизические типы вмещающих пород, имеющие одинаковый минеральный

Таблица 2

Геохимическая характеристика угленосной толщи участка Бутовский — Глубокий-2

Петротип	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	CO_2	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	SO_3	H_2O
I	90	4	0,1	0,9	2	0,4	2	0,8	0,6	0,09	0,03	0,04	0,105	0,4
II	83	3	0,3	0,9	5	0,4	5	0,8	0,5	0,09	0,03	0,05	0,110	0,45
III	90	4	0,1	0,9	2	0,4	2	0,8	0,6	0,09	0,03	0,04	0,105	0,4
IV	63	3	0,4	1,0	14	0,5	15	1,1	0,5	0,10	0,04	0,08	0,100	0,6
V	74	4	0,6	1,2	7	0,6	8	1,1	0,7	0,15	0,04	0,07	0,095	0,75
VI	82	6	0,3	1,5	2	0,6	3	1,3	0,9	0,20	0,05	0,06	0,105	1,00
VII	52	4	0,5	2,0	17	1,0	17	1,3	0,7	0,20	0,06	0,13	0,095	1,00
VIII	65	7	1,0	2,2	8	1,1	9	1,6	1,1	0,30	0,08	0,11	0,095	1,40
IX	74	10	0,7	2,5	2	0,9	3	1,7	1,3	0,40	0,09	0,09	0,100	1,70
X	45	8	1,0	3,5	19	2,1	17	1,6	1,2	0,35	0,09	0,25	0,075	1,50
XI	58	11	1,8	3,5	8	2,0	9	1,9	1,6	0,50	0,11	0,20	0,080	2,20
XII	66	13	1,5	3,7	2	1,4	4	2,1	1,7	0,75	0,13	0,16	0,100	2,60
XIII	39	11	2,4	10,0	19	3,5	17	1,3	1,7	0,45	0,12	0,30	0,050	2,10
XIV	51	14	2,1	11,5	9	2,5	9	1,6	2,2	0,67	0,15	0,25	0,055	3,2
XV	60	17	1,8	6,5	2	1,8	4	1,6	2,4	0,10	0,17	0,18	0,095	3,8
XVI	35	13	2,7	7,0	17	3,9	17	0,9	2,7	0,53	0,13	0,18	0,020	2,7
XVII	46	17	2,4	4,8	7	2,8	9	1,2	3,2	0,68	0,15	0,15	0,040	4,0
XVIII	55	20	2,0	4,3	2	2,0	5	1,2	3,2	0,95	0,16	0,13	0,08	4,9
XIX(XXIV)	37	3	0,4	1,3	27	0,9	26	1,0	0,4	0,10	0,05	0,14	0,11	0,6
XX(XXV)	28	4	1,0	2,5	30	1,7	28	1,0	0,6	0,17	0,07	0,18	0,10	0,8
XXI(XXVI)	23	6	1,7	3,5	31	3,0	28	0,8	0,9	0,25	0,08	0,19	0,09	1,2
XXII(XXVII)	22	9	2,1	3,5	28	4,3	27	0,6	1,3	0,35	0,10	0,17	0,07	1,6
XXIII(XXVIII)	11	3	0,7	1,0	44	1,3	38	0,4	0,4	0,90	0,055	0,12	0,13	0,5

состав. Удельное электрическое сопротивление пород измеряют при одинаковой минерализации насыщающих их вод и температуре [2].

Коксующиеся угли относят к трем стадиям VIII, IX и X (Ж, К, ОС), но здесь рассматривается только начальная стадия и ступень в интервале палеоглубины 3900—4150 м, т. е. толщи, содержащие коксующиеся угли по площади бассейна. Стратиграфическая (современная) глубина этого интервала разреза изменяется в широком диапазоне по площади бассейна, но она всегда меньше палеоглубины.

Распространенность петротипов также изменяется по площади бассейна, но их перечень и свойства практически остаются неизменными, так как они формируются из одних и тех же трех компонентов: кластического материала, глинистого и карбонатного цементов. Вопрос об изменении физических свойств по разрезу угленосной толщи, содержащей коксующиеся угли, требует дальнейшего рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология* месторождений угля и горючих сланцев СССР. Отв. ред. И. А. Кузнецов. Т. 1. М., Углетехиздат, 1963.
2. *Гречухин В. В.* Изучение угленосных формаций геофизическими методами. М., Недра, 1980.
3. *Гречухин В. В.* Новые факторы повышения эффективности угольной геофизики. — Разведка и охрана недр, 1984, № 5, с. 39—43.
4. *Гречухин В. В.* Новые физические основы угольной геофизики. — В кн.: 27 МГК. Т. 4, М., 1984, с. 85—87.

Таблица 3

Петрографическая характеристика коксующихся углей и углистых пород участка Бутовский — Глубокий-2, стадия метаморфизма VIII(Ж), литолого-геофизическая ступень I

Петрофизический тип		Петрографическая характеристика									Распространенность петротипов в разрезе, %	
				Состав минеральных примесей, %								
Номер	Наименование	Органическое вещество	Минеральное вещество	глинистый	сульфиды	карбонатный	кластический	Цвет	Блеск	Структура, текстура	по мощности слоев	по количеству слоев
XXIX	Аргиллит низкоуглистый	10—20	80—90	60—90	0—5	0—15	0—20	Темно-серый, черный	Матовый	Полосчатая, Слоистая	0,25	0,10
XXX	Аргиллит среднеуглистый	20—35	65—80	55—80	0—5	0—10	0—10	Темно-серый, сажистый	„	Однородная, штриховатая, полосчатая	0,25	0,15
XXXI	Аргиллит высокоуглистый	35—50	50—65	50—65	0—5	0—7	0—7	То же	Матовый, полуматовый	Полосчатая, штриховатая	0,10	0,25
XXXII	Уголь высокозольный	50—70	30—50	30—50	0—5	0—5	0—5	Черный, темно-бурый	То же	Полосчатая штриховатая, однородная	0,15	0,25
XXXIII	Уголь среднезольный	70—85	15—30	15—30	0—5	0—3	0—3	Черный	Полублестящий	Полосчатая	0,25	0,25
XXXIV	Уголь низкозольный	85	15	5—15	0—5	0—1	0—1	„	Блестящий	Полосчатая, реже однородная	1,50	1,50

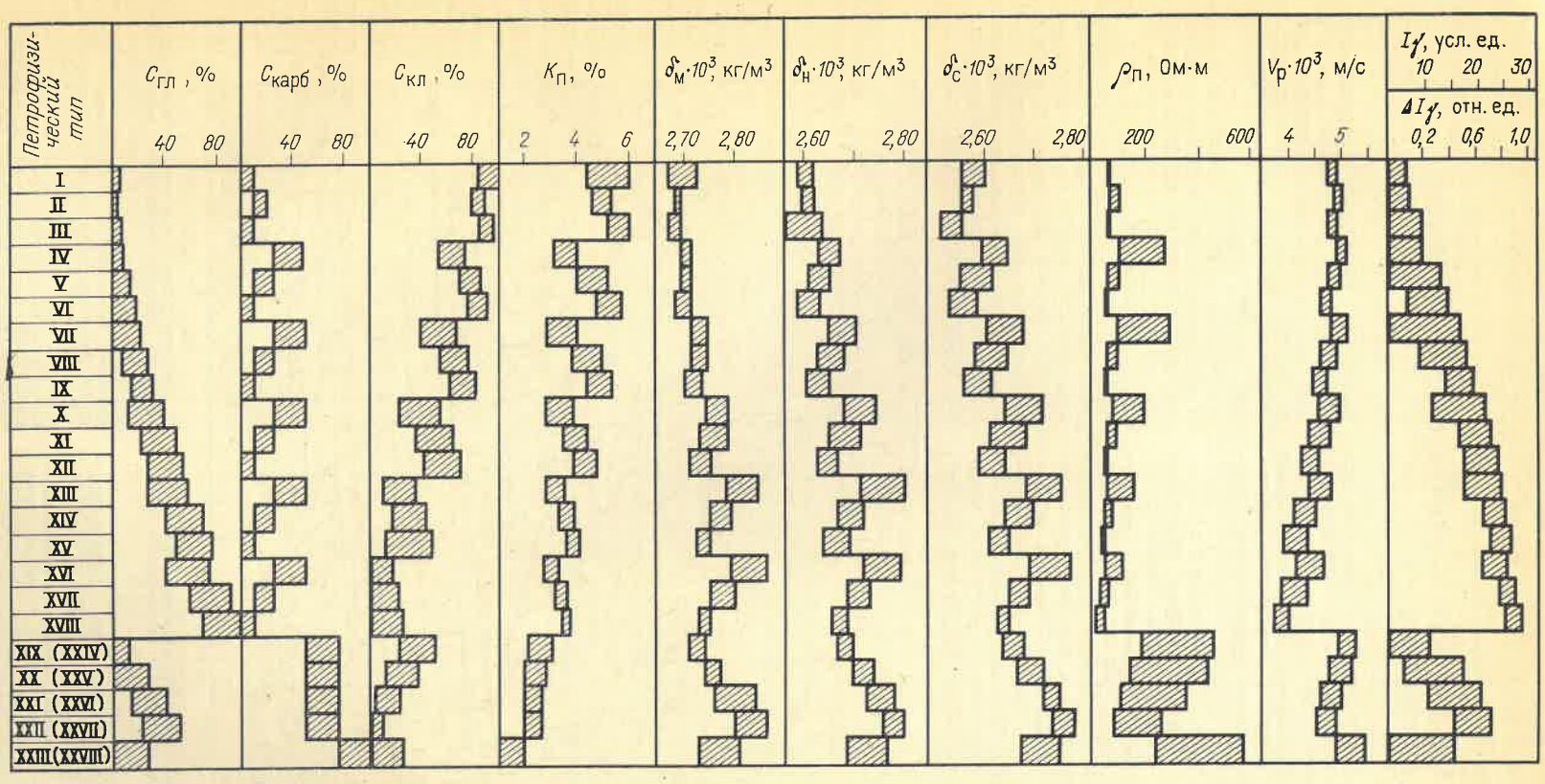


Рис. 4. Вещественный состав и физические свойства угленосных пород участка Бутовский — Глубокий-2. Стадия эпигенеза VIII (Ж), литолого-геофизическая ступень I

$C_{гл}$, $C_{карб}$, $C_{кл}$ — содержания соответственно глинистого, карбонатного цементов и кластического материала. Петрофизические типы см. в табл. 1

УДК 552.321 : 553.271(476)

Д. А. ДОМИНИКОВСКАЯ (ИГиГ АН БССР), В. А. ВАХРУШЕВ
(Гомельский гос. ун-т)

Геологическая позиция и рудоносность габброидов докембрия Белоруссии

В пределах кристаллического фундамента Белоруссии геофизическими и геологическими исследованиями выявлены многочисленные массивы габброидных пород, различающихся по геологическим условиям нахождения, петрохимическим особенностям, рудоносности и другим признакам [9].

Геологическое строение габброидных массивов. Массивы основных пород распространены преимущественно в зонах положительных гравитационных и магнитных физических полей, где они образуют локальные максимумы. Наибольшее их число (более 300) приурочено к северным участкам Зельвяно-Лидской, Ружано-Ивьевской и Кореличской зон положительных аномалий (рис. 1), где они трассируют зоны древних долгоживущих разломов. Габброиды чаще всего образуют субсогласные тела с крутым падением, вытянутые в субмеридиональном направлении на расстояние до 20 км при мощности от нескольких метров до первых сотен метров. Реже встречаются массивы изометричной формы, образующие цепочковидные, поясные скопления.

Наиболее изучены архейские глубокометаморфизованные габброидные тела, которые в настоящее время всеми исследователями Белоруссии [14] подразделяются на три комплекса: березовский, кореличский и русиновский. Основные породы наиболее древнего березовского комплекса распространены преимущественно на западе Белорусского кристаллического массива, где они ассоциируют с гранулит-базитовыми образованиями щучинской серии архея. Габброидные массивы березовского комплекса сложены метаморфизованными пироксенитами, габбро, габбро-норитами,

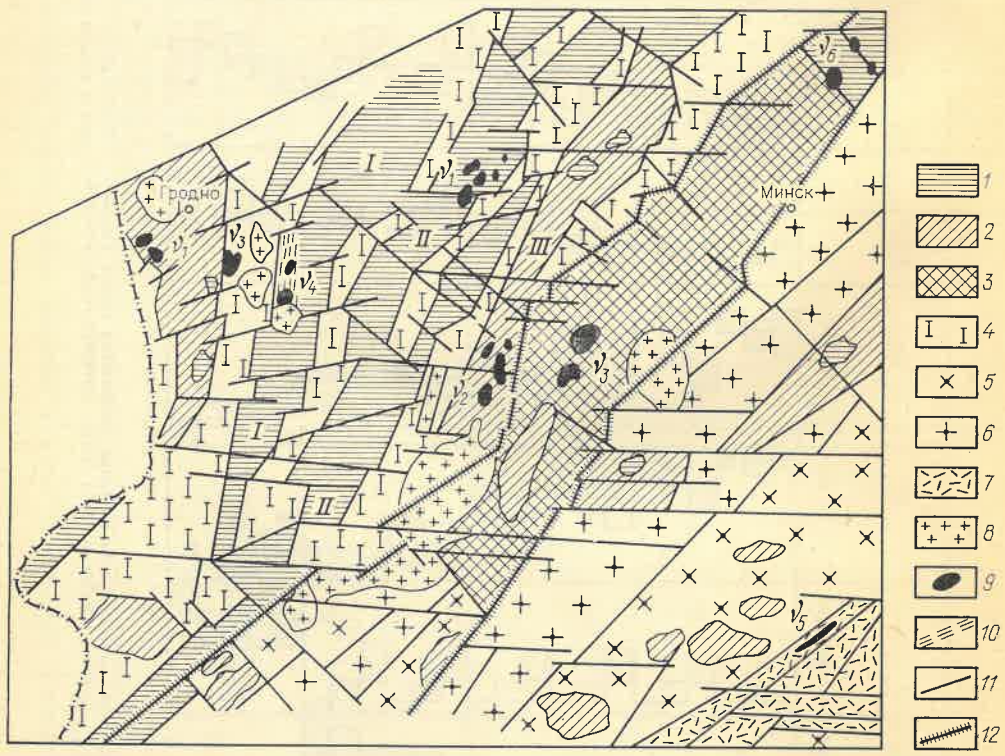


Рис. 1. Схема геологического строения кристаллического фундамента западной и центральной частей Белоруссии

1 — кристаллические сланцы гиперстеновые, двупироксеновые, амфибол-двупироксеновые, амфиболовые щучинской серии архея и продукты их метасоматического и метаморфического изменения; *2* — диафторированные кристаллические сланцы; *3* — околовская серия верхнего архея (амфиболиты иногда с гранатом и клинопироксеном, плагиогнейсы роговообманковые и биотит-роговообманковые биотитовые и биотит-куммингтонитовые, иногда с кордиеритом и графитом, железистые кварциты); *4* — бластомилониты, лептиниты, метасоматиты полонского и поречанского комплексов; *5* — раннепротерозойский осницкий (микашевичский) комплекс: габбро-диориты, диориты, гранодиориты; *6* — раннепротерозойский осницкий комплекс: граниты биотитовые, амфибол-биотитовые и их мигматиты; *7* — раннепротерозойские граниты житковичского и клессовского комплексов, сиениты, щелочные метасоматиты и бластомилониты; *8* — раннепротерозойские микроклиновые и альбит-микроклиновые граниты мостовского, выгоновского и жуховичского комплексов; *9* — габброидные комплексы архея и нижнего протерозоя: ν_1 — березовский, ν_2 — кореличский, ν_3 — русиновский, ν_4 — песковский, ν_5 — нагорновский, ν_6 — каменецкий; *10* — зона Щучинского разлома; *11* — линии региональных разрывных нарушений; *12* — линии суперрегиональных разрывных нарушений; зоны положительных магнитных и гравитационных полей: *I* — Щучинская, *II* — Зельвяно-Лидская, *III* — Кореличская

габбро-амфиболитами и горнблендитами, слабо дифференцированы. Для габброидов характерно преимущественно равномерное распределение железо-титан-окисных рудных минералов, редко достигающих повышенных концентраций.

Габброиды кореличского комплекса развиты в одноименной синклинальной зоне (сводовой части Белорусского массива) и тяготеют к западному борту Околовской грабен-синклинальной структуры. Залегают согласно с породами верхней толщи щучинской (неманской) серии архея (биотитовыми, амфибол-биотитовыми плагиогнейсами и амфиболитами). Массивы основных пород этого комплекса сложены метаморфизованными пироксенитами и рудными пироксенитами, норитами и габбро-норитами, габбро и габбро-амфиболитами, представляющими естественные ряды дифференциации. Среди многочисленных массивов габброидов комплекса (более 100) установлены рудоносные, отличающиеся наиболее высокой степенью дифференциации и вследствие этого обнаруживающие признаки первичной расслоенности, которые выражаются в ритмичном чередовании различных типов пород по вертикали, в обогащенности ультрабазитовыми разностями нижних горизонтов разрезов, а также в закономерном изменении железистости породообразующих минералов.

Архейские габброиды русиновского комплекса образуют небольшие массивы в пределах наложенных грабен-синклинальных структур позднеархейского возраста. Они имеют неправильно-вытянутую или линзовидную форму; площадь их не превышает нескольких квадратных километров. Массивы сложены глубокометаморфизованными породами: габбро-амфиболитами, амфиболитами, актинолит-тремолитовыми породами с биотитом и реликтами габбровых и офитовых структур.

Отличительной особенностью основных массивов русиновского комплекса является повышенная плотность, что отражается в локальных гравитационных аномалиях, и слабая их намагниченность, обусловленная незначительным содержанием в них магнитных минералов. Как показало минераграфическое изучение, количество магнетита и ильменита в габброидах русиновского комплекса в 3—4 раза меньше по сравнению с таковыми березовского и особенно кореличского комплексов.

Вместе с тем в кристаллическом фундаменте Белоруссии в последние годы были выявлены массивы основных пород раннепротерозойского возраста, которые по ряду признаков (петрологических и металлогенических) заметно отличаются от габброидов древних архейских комплексов. Среди основных пород более молодого возраста по типоморфным особенностям рудных минералов нами выделены комплексы: песковский, каменецкий, ничипоровский. Массивы основных пород этих комплексов приурочены к зонам глубинных разломов субмеридионального и широтного простираний и их пересечениям и занимают дискордантное положение по отношению к вмещающим породам. Все они имеют дайкообразные и штокообразные формы и кайнотипный облик. Процессы регионального метаморфизма в слагающих их горных породах проявлены слабо.

Массивы обычно сложены габбро-диабазами и диабазами, отличающимися крупнозернистостью. В физических полях они образуют аномалии, менее интенсивные по сравнению с древнеархейскими массивами. Это объясняется, с одной стороны, меньшими содержаниями рудных минералов, с другой — преобладанием среди рудных минералов ильменита и гематита над магнетитом. Массивы слабее дифференцированы, хотя некоторые (Ничипоровский) обладают признаками расслоенности, нечетко проявленной.

Породы песковского комплекса встречены в зоне Щучинского разлома (западная часть Белорусского кристаллического массива), в Нагорновской зоне разлома Микашевичско-Житковичского выступа и в некоторых других районах Белоруссии. Габброиды каменецкого комплекса распространены на северо-востоке Белорусского кристаллического массива, а ничипоровского — в пределах северного окончания Украинского щита. Более детально рассмотрим рудные минералы раннеархейских габброидов, в частности габброидов кореличского комплекса, с которыми генетически связано промышленное ильменит-титаномагнетитовое оруденение.

Рудные минералы раннеархейских габброидов и ильменит-титаномагнетитовых руд. Наибольший интерес представляют железо-титан-окисные минералы — магнетит, ильменит и гематит. Их содержание и внутреннее строение далеко неодинаковы даже в габброидах одного и того же комплекса, как это хорошо видно на примере детального изучения габбро-норитов и ильменит-магнетитовых руд Кореличской и Ружано-Ивьевской синклинальных зон. Здесь основные рудные минералы — титаномагнетит и ильменит — распространены повсеместно в количестве от 1—2 до 15—20 %, иногда они образуют массивные руды. Соотношения между этими минералами примерно одинаковы. Однако отмечаются и заметные отклонения, чаще всего в сторону преобладания ильменита над титаномагнетитом. Оба минерала находятся в срастании друг с другом, выполняя промежутки между силикатными минералами. Внутреннее строение титаномагнетита сложное. В нем отчетливо различаются три фазы: собственно магнетит, ильменит и шпинель (ульвошпинель), образующие срастания, типичные для структур распада твердых растворов. Как показало структурное травление титаномагнетитов из руд Новоселковского месторождения, преобладают тонкие удлиненные пластинки ильменита, ориентированные в двух или трех направлениях, отвечающих плоскостям октаэдра в магнетите (рис. 2, *а*). Соотношение между ильменитом и магнетитом от 1 : 50 до 1 : 100. Взаимоотношения между продуктами распада — шпинелью и ильменитом — в титаномагнетитах свидетельствуют о том, что первоначально имел место магнетит-ульвошпинелевый распад твердого раствора, в дальнейшем ульвошпинель заместилась ильменитом и шпинелью. Показательно, что в титаномагнетитах груборешетчатые структуры очень редки. Обычно мы видим единичные пластинчатые выделения ильменита, имеющие

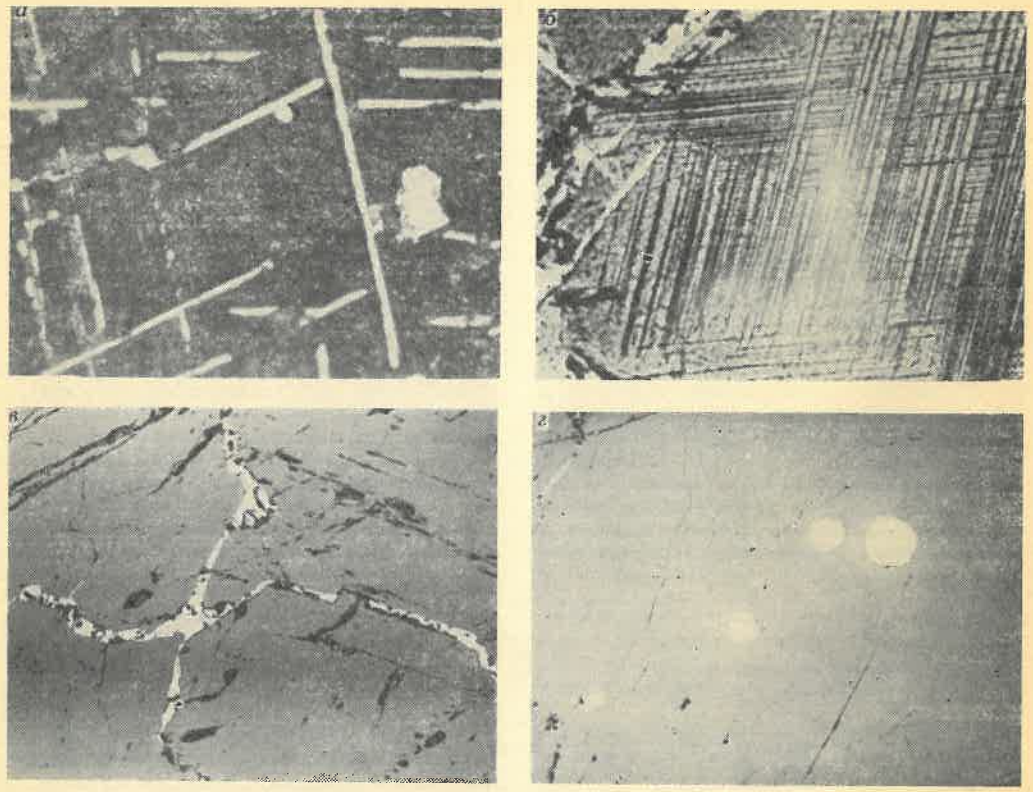


Рис. 2. Особенности рудной минерализации в габброидах

а — внутреннее строение титаномагнетита после травления в концентрированной HCl, полированный шлиф, ув. 120; *б* — решетчатая структура распада твердого раствора магнетита в шпинели, прозрачный шлиф, ув. 200; *в* — прожилковые агрегаты магнетита (с выбоинами) и ильменита в габбро-норите, полированный шлиф, ув. 60; *г* — шаровидные включения пирротина в силикатном минерале рудного габбро березовского комплекса, полированый шлиф, ув. 200

изменчивую величину — от субграфических (эмульсионных) до более грубых, видимых при небольших увеличениях. Решетчатая структура наблюдается в сечениях || (100). При увеличении 300 в магнетите в этом же сечении видна решетка более мелких коротких линзовидных тел или цепочек микрозерен ульвошпинели, пересекающихся под прямым углом.

В виде тонких дискообразных пластинок шпинель (и ульвошпинель) в титаномагнетитах распространена повсеместно. При увеличении 4000 шпинель в виде пластинчатых вростков, ориентированных преимущественно в одном направлении, отмечается в тех зернах первично-магматического магнетита габбро-норитов и ильменит-титаномагнетитовых руд, которые при небольших увеличениях выглядят как однородные. С помощью электронного микроскопа были выявлены две генерации шпинели, образующие два типа решетчатых структур, отвечающих разным временным периодам распада первоначально гемогенного раствора в связи с уменьшением изоморфной емкости магнетита при понижении температуры [16]. При этом размеры включений шпинели обеих генераций уменьшаются к краям зерен титаномагнетита и вблизи пластинок ильменита. Очевидно, шпинель при распаде твердого раствора выделяется позднее ильменита. Обычны скопления мельчайших зерен шпинели по краям ильменитовых сростков. Отмечаются и укрупнения микрозерен шпинели вплоть до образования прожилковых обособлений в основной массе магнетита. В ильменит-титаномагнетитовых рудах Новоселковского месторождения, массивных и гнездово-вкрапленных, встречены и самостоятельные зерна шпинели размером до 2—3 мм в поперечнике [7]. Форма зерен изометричная, цвет в проходящем свете темно-зеленый, в полированных и прозрачных шлифах в них наблюдаются тонкие пластинчатые микровключения магнетита, представляющие продукты распада твердого раствора (см. рис. 2, *б*). Наконец, в рудном габбро Новоселковского месторождения наряду с обычными выделениями магнетита в межзерновом пространстве в отдельных шлифах были встречены рудные капли однофазные (магнетитовые) и двухфазные (ильменит-магнетитовые) размером до 0,4 мм. Это одно из убедительных свидетельств обособления магнетита в капельно-жидком состоянии. Возможность расщепления магматического расплава, по химическому составу отвечающего основным (базальтовым) магмам, в настоящее время подтверждена опытными данными [12].

Самостоятельные зерна ильменита изолированы от титаномагнетита или в срастании с ним и выполняют промежутки между силикатными минералами. В последнем случае наблюдается тенденция к обособлению ильменита по краям магнетитовых (титаномагнетитовых) агрегатов. Границы с магнетитом чаще всего ровные, реже зазубренные, бухтообразные, с признаками разъедания и замещения титаномагнетита ильменитом. Это явление, отмеченное в рудных габброидах как Ружано-Ивьевской, так и Кореличской зон, обычно сопровождается образованием реакционных кайм, содержащих помимо остаточных зерен магнетита новообразования шпинели. В состав шпинели включаются унаследованные химические элементы, в частности алюминий, вхождение которого в решетку менее предпочтительно по сравнению с магнетитом. Такого рода реакционные взаимоотношения между титаномагнетитом и ильменитом, как уже отмечалось ранее [3, 4], служат указанием либо на более позднюю кристаллизацию ильменита по сравнению с титаномагнетитом, либо на существование неравновесных условий между этими минералами уже в послемагматический (метаморфический) этап. Учитывая, что древнеархейские габброиды участками сильно метаморфизованы вплоть до амфиболитов, последнее предположение не лишено оснований.

Ильменит встречается и внутри породообразующих минералов в виде эллипсовидных или шаровидных выделений с четкими ограничениями с минералом-хозяином, без признаков замещения друг друга. Наличие каплевидных включений ильменита внутри силикатных минералов — показатель окисно-рудной ликвации в магматическом расплаве до кристаллизации породообразующих минералов.

Ильменитовые зерна чаще всего однородные. В некоторых ильменитах из рудных габбро-норитов Новоселковского интрузива и других массивов кореличского комплекса установлены включения тонких табличек магнетита (0,001—0,002, редко 0,005 мм в поперечнике), количество которых обычно не превышает 5 % [4, 7]. Часто в пределах одного зерна видны лишь несколько пластинок, постоянно расположенных параллельно друг другу. Такого рода магнетоильмениты известны в докембрийских титаноносных габброидных массивах других районов [15]. Они возникают в результате распада ильменита, который наряду с Fe_2O_3 содержит также в избытке (в данном случае незначительном) FeO. Магнетоильменит встречается и в виде каплевидных обособлений.

Магнетит в габброидах образует мелкие (0,01—0,05 мм) вростки в роговой обманке, плагиоклазе, а также прожилковидные, цепочковидные выделения вдоль границ силикатных минералов, которые обычно связаны с крупными зернами титаномагнетита и ильменита. Появление этого магнетита, как было показано ранее, обусловлено частичной перегруппировкой рудного вещества в процессе метаморфизма габбро-норитов (см. рис. 2, *в*).

Наиболее широко и интенсивно метаморфизм проявлен в габброидах Щучинской тектонической зоны, частично относящихся к кореличскому комплексу. Здесь редко встречаются не только типичные зерна первичного титаномагнетита, но и реликты решеток распада или групповых обособлений ильменита на их месте. Ильменит в габброидах Щучинского района большей частью уже новообразованный и наблюдается в виде самостоятельных зерен или их лапчатых агрегатов в межзерновом пространстве, а также мелких линзочек и струй, прожилков, ориентированных в соответствии с общей сланцеватостью пород. В катаклазированных разностях габбро и амфиболитах по ним обычны сетчато-кольчатые обособления ильменита вокруг овоидов плагиоклаза, сохранившихся от раздрабливания и перекристаллизации. Структура таких рудных габбро типичная гранобластовая. Естественно, что и магнетит в главной своей массе здесь также является вторичным, и его выделения во многом аналогичны таковым ильменита. Во многих шлифах наблюдается четко выраженная тенденция к полосовидному расположению мелких линзочек новообразованного магнетита, нередко переходящих в прожилки, сложенные одним магнетитом либо магнетитом и ильменитом одновременно. В отличие от первичного магматического титаномагнетита новообразованный магнетит не содержит продуктов распада твердого раствора, в том числе и шпинели, что было подтверждено и электронномикроскопическими исследованиями. Таким образом, четко установлено преобладание в наиболее метаморфизованных габброидах и особенно в ортоамфиболитах ильменита над магнетитом.

Неустойчивость магнетита в ортоамфиболитах недавно была подтверждена А. А. Кременецким [11]. В связи с этим напомним, что и во многих типах изверженных пород, в частности гранитах, ильменит и магнетит также не встречаются одновременно в одинаковых количествах [13]. Основая причина преобладания одного из рудных минералов — величина окислительно-восстановительного потенциала, обусловливающая нахождение железа преимущественно в закисной (ильменит) или окисной (магнетит) форме.

В рудных габбро-норитах, в частности в габбро-норитах березовского и кореличского комплексов, можно видеть все стадии преобразования титаномагнетита с обособлением ильменита. На начальных стадиях отмечается нарушение правильной ильменитовой решетки в зернах титаномагнетита. Пластинки ильменита теряют прямолинейность своих очертаний. В одних случаях они приобретают форму прожилков, не выходящих за контуры зерен титаномагнетита, в других — происходит укрупнение включений зерен ильменита, приводящее к почти полному изменению первоначальной структуры. Наконец, при наиболее интенсивном проявлении метаморфизма ильменит обособляется в округло-неправильные, изометричные самостоятельные зерна, выполняющие совместно с магнетитом промежутки между породообразующими силикатными минералами. По данным подсчета, в протолочных пробах в габброидах березовского комплекса ильменит заметно преобладает над магнетитом, что, с одной стороны, подтверждает их более высокую степень метаморфических преобразований, с другой — возможно, более глубокие горизонты формирования в условиях, близких к восстановительным по сравнению с габброидами кореличского комплекса.

Сульфидные минералы в рудных габброидах присутствуют постоянно. Наиболее распространены в них пирротин (обычно с пластинчатыми вростками пентландита), халькопирит и пирит, содержание которых в ильменит-магнетитовых рудах составляет 2—3 %. В гнездово-вкрапленных рудах Новоселковского месторождения количество пирротина иногда достигает 15 %. При этом пирротин концентрируется среди ильменит-магнетитовых агрегатов или находится в срастании с апатитом, гиперстеном и роговой обманкой, а также встречается в рудных пироксенитах, впервые установленных нами в рудоносных габброидных телах Белоруссии. Такого рода ультраосновные породы характерны для дифференцированных массивов и могут служить важным поисковым критерием на обнаружение богатых ильменит-титаномагнетитовых руд в габброидах разного возраста: от габбро-норит-пироксенитовой формации раннего архея до габбро-анортозитовой формации протерозоя [8].

Пирротин, халькопирит и пентландит, несомненно, относятся к высокотемпературной (первично магматической) ассоциации. Минералы этой ассоциации, постоянно находясь друг с другом в срастании, выполняют межзерновое пространство и одновременно присутствуют в виде типичных каплевидных обособлений внутри силикатных минералов и титаномагнетита (см. рис. 2, *г*). Трехфазный парагенезис сульфидных минералов (пирротин+пентландит+халькопирит) свойствен не только крупным межзерновым агрегатам, но и более мелким (0,02—0,05 мм) каплевидным включениям.

В габброидах Щучинской зоны совместно с пирротином, пентландитом и халькопиритом встречены мелкие зерна сфалерита с включениями очень тонких, закономерно ориентированных пластинок халькопирита. Не исключено, что в данном случае сфалерит выступает как равноправный член одной и той же высокотемпературной ассоциации. Это подтверждается не только нахождением его в тесном срастании с рассматриваемыми сульфидными минералами, но и наличием ровных границ с ними без каких-либо признаков коррозионных явлений. Из других очень редко встречающихся минералов сульфидов кроме пламеневидных или пластинчатых включений пентландита в срастании с пирротином обнаружен линнеит.

Первично магматическая сульфидная минерализация также испытала воздействие метаморфических процессов. Под влиянием динамометаморфизма произошло частичное перераспределение рудных компонентов, в том числе и обособление в самостоятельные зерна пентландита и халькопирита, присутствующих первоначально внутри пирротина в качестве продуктов распада твердого раствора. Наиболее ярко этот процесс проявился в габброидах Щучинской и Кореличской зон. В отдельных случаях здесь наблюдается цепочковидное расположение сульфидных капель. Подобное не свойственное неизмененным габброидам распределение сульфидных включений обусловлено пластическими деформациями, которые проявились в виде двойников скольжения, в облачном угасании и блокировании силикатных минералов. Механизм движения такого рода твердых включений вдоль зон дислокации в литературе описан [6]. Заметим, что каплевидные включения сульфидов в силикатных минералах и ильменитовые решетки служат типоморфными признаками, которые в сочетании с данными по петрохимии и условиями залегания амфиболитов могут служить диагностическими признаками для разграничения на орто- и параамфиболиты [4, 5, 11].

Из поздних, уже несомненно гидротермальных сульфидов, в массивных и гнездово-вкрапленных рудах, а также вмещающих их габброидах наиболее распространен пирит. Особенно много пирита (5—8 %) в катаклазированных и метасоматически преобразованных (до кварц-плагиоклазовых и биотитовых гнейсов) габбро-норитах. Пирит образует метакристаллы и сложно ветвящиеся тонкие прожилки. Практически постоянно наблюдается и псевдоморфное замещение пиритом пирротина, в том числе и каплевидного пирротина с сохранением необычной для пирита шаровидной формы. Замещение пирротина пиритом часто сопровождается выделением наиболее позднего тонкозернистого магнетита. Значительно реже встречается поздний халькопирит, образующий также жилки по трещинам в силикатных минералах и пирите.

Рудная минерализация раннепротерозойских основных пород. Раннепротерозойские основные породы преимущественно представлены габбро-диабазами и диабазами, входящими в состав песковского, каменецкого и ничипоровского комплексов. Главные рудные минералы габброидов — ильменит, магнетит и гематит. В габброидах песковского комплекса их содержание составляет 10—15 %, причем здесь ильменит резко преобладает над магнетитом, а в отдельных интервалах является единственным окисно-рудным минералом. Ильменит выполняет межзерновое пространство и одновременно наблюдается в виде каплевидных обособлений внутри породообразующих силикатных минералов.

Постоянное преобладание ильменита над магнетитом свойственно габброидам с диабазовой структурой (габбро, габбро-норитам, норитам, рудным и биотитовым габбро) каменецкого комплекса с той разницей, что здесь присутствует не просто ильменит, а гематито-ильменит. В мелкозернистых габброидах этого комплекса гематитоильменит выступает как единственный окисно-рудный минерал.

Наиболее богаты окисно-рудными минералами (до 20—25 %) основные породы ничипоровского комплекса. Среди них присутствуют как собственно ильменит и магнетит, так и титаномагнетит и ильменитомагнетит. При этом ильменит преобладает; в более глубоких горизонтах магнетит (вне продуктов распада твердого раствора) не встречается вовсе.

Преобладание среди рудных минералов ильменита (или гематито-ильменита) — важная особенность молодых (раннепротерозойских) габброидных комплексов докембрия Белоруссии и должна учитываться при поисковых работах. Нередко при поисках предпочтение отдается массивам, проявляющимся максимумами в магнитном поле, а массивы, богатые таким ценным рудообразующим компонентом, как ильменит, могут остаться без внимания.

Для габброидов всех комплексов характерен высокотемпературный халькопирит-пентландит-пирротиновый парагенезис сульфидных минералов; местами встречается поздний по времени кристаллизации пирит.

Особенности формирования габброидов и перспективная оценка их рудоносности. Ранее многими исследователями оруденение в габброидах кристаллического фундамента Белоруссии связывалось с метаморфизмом или ультраметаморфизмом. При этом за исходные архейские породы принимались вулканогенно-осадочные образования, преобразованные в условиях гранулитовой фации в амфиболиты, гнейсы, двупироксеновые кристаллические сланцы. Аналогичных или близких взглядов на происхождение габброидов и ильменит-титаномагнетитовых руд отдельные авторы придерживаются до сих пор [10]. Выполненные нами детальные минераграфические исследования убедительно указывают на первично магматическое происхождение габброидов и генетически с ними связанных ильменит-титаномагнетитовых руд. Это подтверждается как особенностями фазового состава и внутреннего строения железо-титан-окисных минералов, так и наличием явных признаков окисно-рудной и сульфидной ликвации в магматическом расплаве. Заключение о первично магматическом происхождении руд подтверждается и результатами изучения элементов-примесей [13]. Оказалось, что их распределение в ильмените и магнетите, особенно Se и V, аналогично распределению в этих же минералах, образовавшихся при динамометаморфизме первично магматических руд таких месторождений, как Кусинское (Урал), Цагинское (Кольский полуостров), Отанмяки (Финляндия).

Однако условия формирования габброидов различных комплексов неодинаковы. Различны видовой состав и особенно распространенность в них рудных минералов. Так, для габброидов березовского комплекса повышенные концентрации Fe—Ti-окисных минералов не характерны. Массивы габброидов этого комплекса слабо дифференцированы, вследствие этого рудные минералы образуют в них равномерную вкрапленность. Вместе с тем железистость породообразующих минералов (силикатов) в этом комплексе значительно выше, чем в аналогичных образованиях кореличского комплекса. Габброиды березовского комплекса в целом более меланократовые по сравнению с другими основными породами докембрийского фундамента Белоруссии; в них, как правило, ильменит заметно преобладает над магнититом. Эти данные, наряду с более высокой степенью метаморфизма, отражают различный эрозионный срез синклинальных зон и, по-видимому, неодинаковые условия кристаллизации. Кристаллизация габброидов березовского комплекса проходила в условиях дефицита кислорода на больших глубинах (преобладание закисных форм железа преимущественно в породообразующих силикатных минералах и обедненность в целом летучими компонентами).

Массивы кореличского комплекса характеризуются более высокой степенью дифференциации. В породах, принимающих участие в их сложении, преобладает окисная форма нахождения железа и титана. Очевидно, эти обстоятельства во многом и предопределили повышенную рудоносность габброидов кореличского комплекса, формирование промышленных скоплений ильменит-титаномагнетитовых руд (Новоселковский и Кольчицкий массивы). Помимо увеличения в составе Fe—Ti-окисных минералов доли магнетита, кореличские габброиды содержат больше апатита и сульфидов по сравнению с габброидами березовского комплекса; в них также более широко распространены магнетит-шпинелевые продукты распада твердого раствора. Выявленные различия в типоморфизме рудных минералов габброидов обусловлены неодинаковыми окислительно-восстановительными условиями их кристаллизации.

Типоморфизм свойствен окисно-рудным минералам молодых габброидов. Подтверждением служат данные минераграфического изучения основных пород каменецкого комплекса. Прежде всего бросается в глаза отсутствие признаков перегруппировки рудного вещества под влиянием динамометаморфизма, преобладание ильменита над магнетитом и, наконец, широкое распространение пластинчатых вростков гематита в ильмените. В габброидах также обнаружены признаки окисно-рудной и сульфидной ликвации в исходном магматическом расплаве в виде мельчайших шариков ильменита и пирротина, законсервированных внутри силикатных минералов. Показательно, что в каплевидном ильмените присутствуют тонкие параллельно расположенные пластинки магнетита, возникшие в результате распада твердого раствора. Присутствие в габброидах магнетитоильменитов и особенно гематитоильменитов свидетельствует о высоком парциальном давлении кислорода в магмах в момент ее кристаллизации.

Если воспользоваться диаграммой металлогенической специализации интрузивов по А. И. Богачеву [2], то оказывается, что раннеархейские габброиды, в частности габбро-нориты кореличского и березовского комплексов, занимают поле, характерное для основных пород, несущих железо-титановое оруденение (рис. 3). Габброиды же русиновского комплекса тяготеют к полю медно-никелевой специализации, что наряду с другими признаками служит важным корреляционным показателем этих пород. Основные породы ничипоровского комплекса тяготеют к вершине треугольника, отражающего их обогащение железом и щелочами. В этом отношении они тождественны габброидам кристаллического фундамента Латвии, что служит дополнительным подтверждением принадлежности интрузивов ничипоровского комплекса к протерозойским образованиям габбро-анортозитовой формации [1, 9].

Таким образом, из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Многочисленные габброидные массивы кристаллического фундамента Белоруссии неоднородны по условиям залегания, петрохимическим особенностям, рудоносности и другим признакам.

2. Среди раннеархейских габброидов наибольший практический интерес представляют

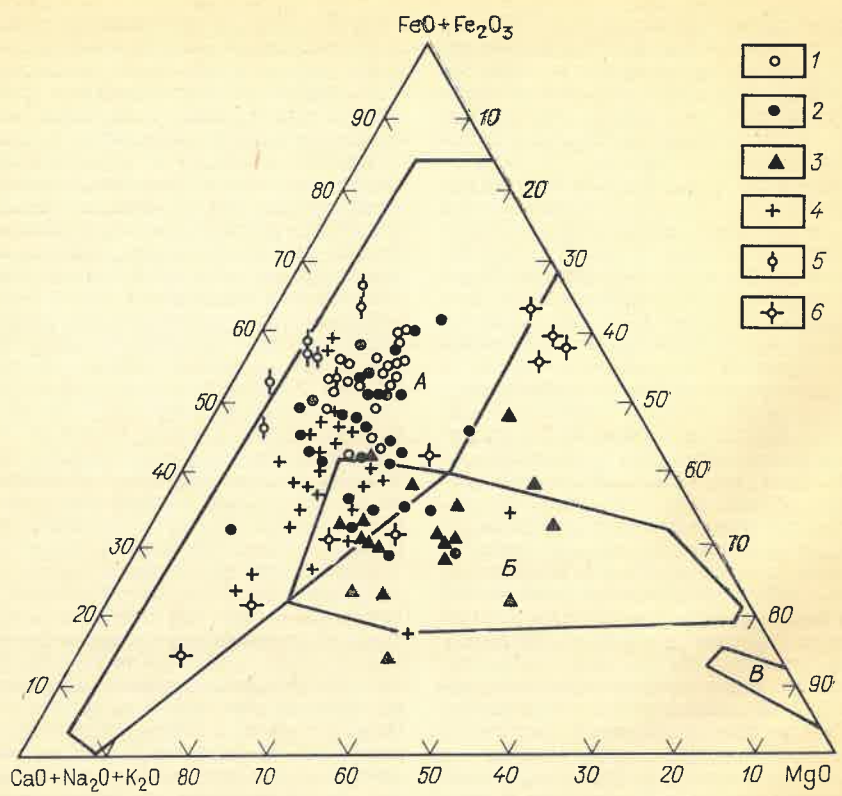


Рис. 3. Положение фигуративных точек основных и ультраосновных комплексов докембрия на петрохимической диаграмме металлогенической специализации А. И. Богачева [2]

1—5 — комплексы: *1* — березовский, *2* — кореличский, *3* — русиновский, *4* — песковский, *5* — ничипоровский, *6* — габбро-анортозиты Западной Латвии [1]. *А—В* — поля специализации: *А* — титаноносной, *Б* — никеленосной, *В* — хромитоносной

породы кореличского комплекса, с которыми генетически связано промышленное ильменит-титаномагнетитовое оруденение, среди раннепротерозойских образований — габброиды русиновского и ничипоровского комплексов. Габброиды русиновского комплекса отчетливо проявляют специализацию на медно-никелевое оруденение, а ничипоровского — на титановое.

3. Видовой состав рудных, особенно железо-титан-окисных минералов, их распространенность и взаимоотношения друг с другом могут быть использованы не только для уточнения условий формирования габброидов, но и для расчленения на отдельные комплексы и, что очень важно, для перспективной оценки их рудоносности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Биркис А. И., Богатиков О. А.* Магматизм докембрия Западной Латвии. М., Наука, 1973.
2. *Богачев А. И.* Некоторые петрохимические особенности никеленосных, титаноносных и хромитоносных интрузий. — В кн.: Вулканогенные и гипербазитовые комплексы Карелии. Петрозаводск, 1968, с. 5—25. (Тр. Ин-та геол. КФ АН СССР, т. 1).
3. *Вахрушев В. А.* Рудные минералы изверженных пород. Новосибирск, Наука, 1980.
4. *Вахрушев В. А.* Ильменит-титаномагнетитовые руды кристаллического фундамента Белоруссии. — Геология рудных месторождений, 1981, т. 239, № 2, с. 34—43.
5. *Вахрушев В. А., Корешкова Л. А., Шевченко Н. В.* Рудная минерализация в габброидах и амфиболитах Щучинской тектонической зоны. — Докл. АН БССР, 1982, т. 26, № 7, с. 643—645.
6. *Гегузин Я. Е., Кривоглаз М. А.* Движение микроскопических включений в твердых телах. М., Металлургия, 1977.
7. *Доминиковская Д. А.* Типоморфизм и особенности формирования рудных минералов кореличского комплекса Белорусского массива. — В кн.: Материалы по геологии кристаллического фундамента и осадочного чехла Белоруссии. Минск, 1981, с. 22—38.
8. *Доминиковская Д. А.* Рудные пироксениты и рудообразование. — В кн.: Изучение осадочной толщи и кристаллического фундамента территории Белоруссии. Минск, Наука и техника, 1984, с. 61—72.
9. *Доминиковский Г. Г., Доминиковская Д. А.* Петрология докембрия Белоруссии. Минск, Наука и техника, 1978.
10. *Корнилов Н. А.* Новый железорудный регион на западе СССР. — Природа, 1984, № 3, с. 62—69.
11. *Кременецкий А. А.* Метаморфизм основных пород докембрия. М., Наука, 1979.

12. *Манаков А. В., Шарапов В. Н.* Механизм и кинетика обособления магнетита в базальтовых расплавах. — Докл. АН СССР, 1983, т. 272, № 3, с. 670—674.
13. *Об элементах* семейства железа в ильменит-магнетитовых рудах Белорусского кристаллического фундамента/Л. Ф. Борисенко, И. В. Степанов, Л. И. Сердобова и др. — Докл. АН СССР, 1972, т. 205, № 5, с. 1213—1216.
14. *Стратиграфия* докембрия Белоруссии/А. С. Махнач, Г. Г. Доминиковский, А. М. Пап и др. — В кн.: Проблемы геологического строения, петрологии и металлогении кристаллического фундамента Белоруссии и смежных регионов. Минск, Наука и техника, 1978, с. 15—25.
15. *Шабалин Л. И., Механошин А. С.* Малотагульский массив — новый для Алтае-Саянской складчатой области тип титаноносных габброидных интрузий. — Геология и геофизика, 1977, № 3, с. 80—87.
16. *Шевченко Н. В., Вахрушев В. А.* Особенности внутреннего строения магнетитов и титаномагнетитов из рудных габброидов и амфиболитов кристаллического фундамента Белоруссии. — Докл. АН БССР, 1983, т. 27, № 5, с. 441—443.

ГЕОФИЗИКА И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ

УДК 550.38

Б. А. ПОПОВ, Б. П. РЫЖИЙ (ПГО «Уралгеология»)

Геофизические исследования при прогнозе, поисках и разведке месторождений рудных полезных ископаемых

Совершенствование стадийности геологоразведочного процесса — одно из основных направлений повышения эффективности прогнозирования, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых [2, 4, 9]. В связи с обновлением основополагающих документов по классификации прогнозных ресурсов и запасов [1, 5] появились работы, посвященные оптимальным прогнозно-поисковым комплексам [6 и др.].

Геофизические исследования представляют неотъемлемую часть всех стадий геологоразведочного процесса и зачастую определяют эффективность решения задач. Результатом геофизических работ каждой стадии является конкретная геологическая информация, получение которой без геофизических исследований невозможно или сопряжено с дополнительными затратами времени и средств. Однако необходимость повышения эффективности геологоразведочного производства требует отказа от «избыточных» комплексов геофизических исследований. Усложнение последних в каждом конретном случае должно обосновываться технико-экономическими расчетами, подтверждающими, что дополнительные затраты окупятся геологической информацией, позволяющей как минимум компенсировать эти затраты уменьшением стоимости работ за счет сокращения вовлекаемых в последующие стадии площадей, уменьшения объема других исследований.

Систематизация основных видов геофизических работ, применяющихся в рудных районах, по стадиям, масштабам, задачам и результатам приведена в таблице.

На основе анализа применяющегося в рудных районах комплекса с учетом геологических задач каждой стадии и целей геофизических исследований можно выявить слабые места существующего комплекса, для устранения которых необходимы усилия научных и производственных организаций.

На стадии региональных работ выясняются основные черты геологического строения обширных территорий, площади распространения геологических образований различного состава, их морфология, возраст, характер дислоцированности, контактовые взаимоотношения, связь с глубинным строением земной коры. Основная задача региональных работ с точки зрения поисков полезных ископаемых — установление их связи с определенными геологическими образованиями. Металлогеническое районирование, выполненное на этих стадиях, является

Основные виды геофизических работ при прогнозе, поисках и разведке рудных полезных ископаемых

Стадия, основной масштаб	Ресурсы и запасы	Поисковый результат стадии	Поисковый результат геофизических работ	Основной комплекс геофизических работ: Гравиразведка	Магниторазведка	Сейсморазведка	Электроразведка	Ядерные методы	Дистанционные методы	Геохимические методы
Региональные работы, геологическое картирование с уточнением металлогенического районирования, 1 : 200 000	P_3	Перспективная площадь внутриметаллогенической зоны	Карты районирования физических полей и металлогенических зон	1 : 200 000	Аэросъемка 1 : 50 000; аэрогеотраверсы по профилям ГСЗ	ГСЗ 1 профиль на два листа масштаба 1 : 200 000	МТЗ по профилям ГСЗ	Аэрогаммасъемка 1 : 50 000	ГИК 1 : 200 000 на основе космо- и аэроснимков	Литогеохимия, гидрогеохимия по потокам рассеяния, 1 : 200 000
Геологосъемочные работы с общими поисками, 1 : 50 000	P_2	Выявление благоприятной для локализации полезного ископаемого обстановки (рудное поле)	ПГУ-2	1 : 25 000 1 : 50 000	1 : 25 000 или аэросъемка 1 : 10 000	Профили МПВ, МОВ	ВЭЗ, ВП, МПП 1 : 50 000	1 : 25 000	ГИК 1 : 25 000 на основе аэроработ	Профильная газортутная съемка, литогеохимия, 1 : 50 000
Поисковые работы, 1 : 10 000	P_2+P_1	Перспективный участок, рудопроявление	ПГУ-1	1 : 10 000	1 : 10 000	+	ВЭЗ, СЭП, МПП, ВП, МЗТ	1 : 10 000	ГИК 1 : 10 000	Литогеохимия по корам выветривания, 1 : 10 000
Поисково-оценочные работы, 1 : 5 000	P_1+P_2	Установление промышленного значения рудопроявления, ТЭС	ФГМ рудопроявления	ДНР	ДНР, ГИС	Пространственные системы	ВЭЗ, МПП, МЗТ, ГИС	Профильные работы, ГИС	Фототеодолитная стереосъемка	Поиски по первичным ореолам и рудам
Предварительная разведка, 1 : 2 000	C_2+C_1	Промышленно-значимое месторождение, ТЭД	ФГМ месторождения	ДНР	ДНР, ГИС	Акустические методы	МЗТ, ГИС	ГИС	Телефотодокументация стенок скважин	Поиски по первичным ореолам и рудам, опробование рудной зоны
Детальная разведка	Промышленные категории запасов	Месторождение, подготовленное к промышленному освоению	Детальная ФГМ месторождения	+	+	То же	ГИС	ГИС	То же	Опробование рудной зоны

ГИС — геофизические методы исследования скважин; ДНР — детальные наземные работы; ГИК — геоиндикационное картирование; «+» — работы выполняются в зависимости от вида полезного ископаемого и геолого-физических предпосылок; ТЭС — технико-экономические соображения; ТЭД — технико-экономический доклад; ПГУ-1 и 2 — перспективные геофизические участки первой и второй категории; ФГМ — физико-геологическая модель.

основой выбора перспективных площадей для последующих более детальных поисковых работ и, следовательно, предопределяет результативность всего геологоразведочного производства.

Геологическое картирование масштаба 1 : 1 000 000 с металлогеническим районированием на территории страны завершено. Однако в связи с систематическим появлением дополнительной информации по глубинному строению земной коры, новых представлений о формировании месторождений и т. д. работы по уточнению геолого-геофизических карт масштабов 1 : 1 000 000 — 1 : 500 000, приводящие к уточнению металлогенического районирования, ведутся непрерывно.

На основе отдельных профилей ГСЗ, «рудной» сейсморазведки, карт гравитационного и магнитного полей, петрофизических исследований и полученных корреляционных зависимостей удается построить целый набор схем соответствующего масштаба: районирования гравитационного и магнитного полей, блокового строения земной коры и «гранито-гнейсового слоя», глубины поверхности «гранулито-базитового слоя», поверхности Мохоровичича, изомощности «гранулито-базитового слоя», средней плотности земной коры, изостатической компенсации и др., дополненных геолого-геофизическими разрезами. Эта информация с учетом данных геоиндикационных карт соответствующего масштаба и геохимических исследований является основой при реконструкции геологической истории развития региона, построении формационно-структурных карт, что в конечном счете приводит к уточнению представлений о металлогенической специализации региона в целом и его отдельных районов.

Геологическое картирование масштабов 1 : 200 000—1 : 100 000 с уточнением металлогенического районирования представляет подстадию, выполняемую до постановки поисковых исследований; ее задача — выявление внутри металлогенических зон перспективных площадей, в пределах которых имеется потенциальная возможность формирования и локализации рудных месторождений с оценкой ресурсов по категории P_3.

От геофизических исследований на этом этапе требуется создание физико-геологических моделей металлогенических зон, а в отдельных случаях — обоснование ресурсов категории P_3. Типовой комплекс геофизических методов [8] включает гравиразведку масштаба 1 : 100 000—1 : 200 000, аэромагниторазведку и аэрогаммасъемку масштаба 1 : 50 000—1 : 100 000, глубинные сейсмические зондирования по геотраверсам второго порядка.

Для получения объективной конечной информации важно, чтобы вся обширная территория, имеющая общие черты геологического строения, единую геологическую историю и общую металлогеническую специализацию, была изучена равномерно съемками типового комплекса по единой методике.

Геофизические исследования на стадии регионального геологического изучения имеют самостоятельный характер и выполняются специализированной геофизической экспедицией.

С целью повышения эффективности исследований необходима дальнейшая разработка аппаратуры, методики проведения полевых работ и интерпретации региональных электроразведочных и повысотных аэромагнитных исследований для условий геосинклинальных областей. В настоящее время представления о глубинном строении земной коры базируются в основном на данных сейсморазведки и гравиразведки. Вовлечение электроразведочной и повысотной магнитометрической информации в построение моделей земной коры позволит существен-

но снизить неоднозначность окончательной интерпретации. Для этой же цели требуется бурение опорных скважин, выполнение параметрических и петрофизических исследований.

Общие поиски при геологическом картировании масштаба 1 : 50 000 — 1 : 25 000 имеют двоякую цель — составление геологических карт соответствующего масштаба и поиски с оценкой прогнозных ресурсов по категории P_2. Поисковый результат этой стадии — выявление рудного поля, а результат опережающих геофизических работ — выявление перспективных участков второй категории, требующих дополнительного изучения для перевода их в первую категорию [12].

Основной объем геофизических исследований на первом этапе представлен опережающей площадной гравиметрией масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000 в комплексе с ВЭЗ и редкой сетью картировочного бурения для введения поправок за рыхлые образования, наземной магниторазведкой масштаба 1 : 25 000 (или аэромагниторазведкой масштаба 1 : 10 000), профилями рудной сейсморазведки, комплексом поисковых электроразведочных работ — в зависимости от вида полезного ископаемого, наземными или воздушными радиометрическими работами.

Окончательная интерпретация должна выполняться с привлечением геоиндикационных карт масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000, составленных на основе аэроработ, а также результатов геохимических съемок и профильной газортутной съемки. При металлометрических работах целесообразно использовать топографическую сеть геофизических исследований; металлометрические съемки желательно проводить по единым с геофизическими работами проектам [7]. Опережающие геофизические исследования выполняются специализированной геофизической организацией.

На втором этапе работ возникает ряд частных задач, для решения которых требуется проведение детальных площадных или профильных геофизических наблюдений специализированным комплексом методов [8]. Их выполнение и истолкование результатов производится геофизическими подразделениями съемочной экспедиции.

Поскольку значительная часть геологических карт составлена ранее без комплекса опережающих геофизических работ и поисковой направленности, в ряде случаев приходится проводить общие поиски по уже существующим картам с одновременным их уточнением, т. е. вводить дополнительную поисковую подстадию с соответствующим комплексом геофизических работ.

Съемка масштабов 1 : 50 000 — 1 : 25 000 является завершающей стадией региональных работ и одновременно первой стадией поисков, в нее вовлекаются территории установленных ранее металлогенических зон и их обрамления. Металлогенические зоны различной специализации (меднорудные, железорудные, перспективные на бокситы и др.) сближены, зачастую площади их перекрываются, поэтому опережающие геофизические работы должны выполняться планомерно с финансированием по двум или нескольким «титулам». Такое ведение работ позволяет изучать геологическое строение значительных территорий единым стабильным коллективом, избежать неоправданных затрат на организацию и ликвидацию работ, организовать перспективное планирование исследований.

В связи с необходимостью планомерного изучения территорий аэромагнитными и аэрогаммаспектрометрическими съемками желательно дополнить комплекс аэроработ аэроэлектроразведочными исследованиями, улучшить обеспечение геодезической привязки аппарата-носителя.

Успехи «рудной» сейсморазведки при изучении рудовмещающих комплексов позволяют уже на современном уровне широко использовать ее при проведении крупномасштабного геологического картирования. Дальнейшее расширение сейсморазведочных исследований связано с внедрением цифровых сейсморазведочных станций с накоплением невзрывных источников упругих колебаний, переходом на пространственные системы наблюдений в пределах рудных полей, совершенствованием систем математической обработки материалов [10].

Региональные исследования и общие поиски должны проводиться организованно, на высоком методическом уровне с тем, чтобы в стадию поисковых работ, когда применяются более детальные и дорогостоящие наборы геолого-геофизических методов, вовлекались наиболее перспективные территории. Для этого значительная часть металлогенической зоны (а в перспективе и вся зона) изучается с примерно одинаковой детальностью, одинаковым комплексом методов с единым подходом к истолкованию полученной информации, что позволяет осуществить надежный локальный прогноз — выбрать наиболее перспективные площади для проведения детальных поисков.

Поиски рудных полезных ископаемых ведутся, как правило, в масштабе 1 : 10 000. В них вовлекается от 10 до 40 % территории металлогенической зоны в зависимости от вида полезного ископаемого и экономической освоенности района работ. В отличие от предыдущей стадии обычно ставится задача поисков одного вида полезного ископаемого, финансирование ведется по отраслевым ассигнованиям, геофизические исследования выполняются специализированным комплексом, выбранным исходя из существующих представлений о физико-геологической модели искомого объекта [3].

Поскольку из методов, основанных на изучении потенциальных полей, наибольшую информацию о глубинном строении территории можно получить с помощью гравиметрических материалов, основой большинства специализированных комплексов являются гравиметрические съемки. Топографическая сеть этих съемок должна быть использована для выполнения других геофизических и геохимических исследований.

Для введения поправок за мощность рыхлых образований в данные гравиметрии выполняется электроразведка методом ВЭЗ, играющая в ряде случаев и самостоятельную роль. Значительные части перспективной территории перекрываются методами, применение которых зависит от вида полезного ископаемого, например, метод вызванной поляризации при поисках колчеданных и меднопорфировых месторождений, метод искусственного подмагничивания при поисках магнетитовых месторождений.

С появлением серийной высокоточной магнитометрической аппаратуры расширились возможности магниторазведки для детального геологического картирования и поисков руд с относительно низкими магнитными свойствами.

Все эти исследования целесообразно проводить как опережающие, дающие информацию для выбора первоочередных участков горнобуровых работ. Выполняются они специализированной геофизической организацией по отдельным проектам или в виде первоначального этапа осуществления единого проекта на детальные поиски.

Выделенные перспективные участки изучаются детально специализированными комплексами по профилям или в площадном варианте, чаще всего с привлечением картировочного бурения, изучением физических свойств пород фундамента и литогеохимическими исследованиями по коренным породам. Эти сопутствующие горно-буровым работам геофизические исследования выполняются геофизическими партиями, входящими в состав территориальных геологоразведочных экспедиций. Наиболее интересные участки переводятся научно-техническими советами в разряд перспективных геофизических участков первой категории, на них выполняется глубокое поисковое бурение.

Для повышения эффективности специализированных поисков требуется оснащение производственных организаций необходимым количеством гравиметров высокой точности, помехозащищенной электроразведочной аппаратурой, внедрение микросейсморазведки для изучения приповерхностной части разреза. Опережающие геофизические и геохимические исследования следует выделить в отдельную подстадию работ, что позволит сократить количество участков, вовлекаемых в изучение горно-буровыми работами.

На стадиях предварительной и детальной разведки, на которых выявляются соответственно промышленно-значимые и пригодные для эксплуатации месторождения, основную роль играют геофизические исследования скважин. Они состоят из трех связан-

ных между собой основных направлений.

1. Выделение в разрезах скважин полезных ископаемых с анализом их качества, а также изучение околорудных и генетически связанных с рудным веществом изменений. Изучение вскрытого скважинной геологического разреза.

2. Получение информации о положении рудных тел в межскважинном и околоскважинном пространстве. На поисковых стадиях эта информация позволяет отбраковать неперспективные участки и организовать целенаправленные работы на перспективных. При разведке месторождений устанавливаются морфология рудных тел и их положение в пространстве, вследствие чего удается избежать ошибок при подсчете запасов в недрах.

3. Контроль технического состояния стволов скважин.

Своеобразие положения геофизических методов исследования скважин в геологоразведочном производстве требует организационной структуры, позволяющей оперативно влиять на ход работ и обеспечивающей научное и методическое их развитие, должный технический и организационный уровень исследований. Они должны выполняться специализированной экспедицией [11].

На разведочных стадиях методы каротажа позволяют локализовать в разрезах скважин пересечения почти всех твердых полезных ископаемых. Первоочередными задачами являются повышение точности определения подсчетных компонентов до требований инструкций ГКЗ прежде всего ядерными методами и организация серийного выпуска аппаратуры для получения ориентированных фотографий разверток стволов скважин.

При изучении строения рудной зоны в межскважинном и околоскважинном пространстве требуется разработка комплексов методов для различных типов полезных ископаемых, дающих исходную информацию для построения надежной объемной физико-геологической модели рудной зоны. Только после решения этой задачи возможно разрежение сети разведочных выработок по геофизическим данным.

Проведение опережающих геофизических исследований на первых трех стадиях геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые повысит технологичность геологоразведочного процесса, приведет к рациональному размещению горных выработок и на этой основе повысит геологическую и экономическую эффективность геологоразведочного производства.

Приведенная систематизация основных комплексов геофизических работ по прогнозно-поисковым и разведочным стадиям может быть также использована для решения следующих вопросов повышения эффективности: 1) оптимизации геологических заданий, исключения субъективизма при проектировании; 2) перспективного планирования ассигнований, материально-технического снабжения, подготовки и распределения кадров для геофизических работ; 3) выбора организационных структур при проведении полевых исследований и истолковании результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Временное* положение о классификации прогнозных ресурсов, подготовке и учете запасов категории твердых полезных ископаемых. М., ВИЭМС, 1981.
2. *Бродовой В. В.* Система геофизических исследований рудных районов. — Геология и разведка, 1979, № 9, с. 100—110.
3. *Вахромеев Г. С.* Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М., Недра, 1978.
4. *Козловский Е. А.* Минерально-сырьевая база и фактор времени. — Сов. геология, 1979, № 3, с. 9—22.
5. *Классификация* запасов месторождений прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М., ГКЗ СССР, 1981.
6. *Кривцов А. И., Нарсеев В. А.* Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы. — Сов. геология, 1983, № 1, с. 17—27.
7. *Методические* рекомендации по интерпретации геофизических данных при крупномасштабном геологическом картировании. Свердловск, 1983.
8. *Методические* рекомендации по комплексированию геофизических методов при крупномасштабных геологосъемочных работах и поисках месторождений твердых полезных ископаемых. Л., ВСЕГЕИ, 1982.
9. *Методические* указания о порядке проведения геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые по стадиям. М., ВИЭМС, 1984.
10. *Рыбалка В. М.* Состояние и пути развития рудной сейсморазведки на Урале. — В кн.: Сейсморазведка при поисках месторождений цветных металлов на Урале. М., 1981, с. 4—9.
11. *Рыжий Б. П., Медведев Л. М.* Рациональная структура организации службы геофизических исследований. — В кн.: Эффективность промышленного производства. Алма-Ата, 1982, с. 17—23.
12. *Положение* об учете перспективных геофизических участков для поисков месторождений твердых полезных ископаемых и подземных вод. М., ВИЭМС, 1979.

УДК 551.7.02 : 551.763.12(571.1)

О. М. МКРТЧЯН (ИГиРГИ), Н. М. БЕЛКИН, В. А. ДЕГТЕВ
(«ЗапСибнефтегеофизика»)

Сейсмогеологическое обоснование единой схемы корреляции продуктивных шельфовых пластов неокома Среднего Приобья

Для Западно-Сибирской провинции имеется несколько районных схем расчленения и корреляции продуктивных пластов неокомского нефтегазоносного комплекса. Установление их взаимоотношений и построение единой стратиграфо-корреляционной основы является одной из наиболее дискуссионных проблем.

В региональных стратиграфических схемах мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской равнины в качестве основных подразделений верхнеюрско-неокомских отложений Среднего Приобья выделены (снизу вверх): васюганская, георгиевская, баженовская, мегионская (с ачимовской толщей в нижней части), вартовская и алымская свиты [10].

Большинство продуктивных пластов неокома приурочено к верхнеберриасско-барремским отложениям, подразделенным на мегионскую и вартовскую свиту. Граница между ними в Сургутском районе приведена по кровле чеускинской глинистой пачки (основанию песчаных пластов $БС_{8-9}$), а в Нижневартовском — по кровле глинистой пачки, разделяющей пласты $БВ_8$ и $БВ_7$ («верхняя» глинистая пачка эталонной скв. 124 Ватинская).

Граница между валанжинским и готеривским ярусами проведена в региональных стратиграфических схемах по кровле сармановской пачки. Тем самым в рассматриваемых схемах предполагалось единство стратиграфического положения пластов $БС_{10}$ и $БВ_8$ в верхней части валанжинского яруса. В мегионской свите помимо пластов $БС_{10-13}$ и $БВ_{8-12}$, в нижней ее части была обособлена ачимовская толща, к которой отнесены преимущественно песчаные отложения, индексированные как пласты $БС_{16-22}$ и $БВ_{16-22}$. В составе вартовской свиты в Сургутском районе выделены песчаные пласты $АС_4$—$АС_{12}$ и $БС_0$—$БС_7$, а в Нижневартовском — пласты $АВ_2$—$АВ_8$ и $БВ_0$—$БВ_7$. Положение границы между готеривом и барремом намечено в Сургутском районе по кровле быстринской глинистой пачки, т. е. в основании пласта $АС_6$, а в Нижневартовском — в подошве пласта $АВ_3$. Выше залегают отложения алымской свиты (апт), включающие реперную кошайскую пачку глин. В Сургутском районе свита сложена преимущественно глинами, в Нижневартовском — нижняя ее часть замещена песчано-алевролитовыми разностями, отнесенными к пласту $АВ_1$.

Считалось, что все указанные свиты, по крайней мере в Среднем Приобье, имеют относительно изохронные границы и образуют региональные геологические тела, формы и пространственные взаимоотношения которых соответствуют горизонтальнослоистой модели строения осадочного бассейна. Однако указанная корреляция пластов Сургутского и Нижневартовского районов не разделялась многими геологами (С. Л. Барков, Б. С. Бочкарев, П. Я. Зининберг, Г. С. Ясович и др.), предполагавшими и другие варианты их сопоставления.

Ряд исследователей разработали принципиально новую модель регионального косослоистого строения нижнемелового комплекса и основанный на ней иной, чем в региональной стратиграфической схеме, вариант корре-

ляции продуктивных пластов и глинистых пачек [3, 5, 6, 7, 8]. Согласно этим представлениям, строение нижнемеловых отложений обусловлено характером их седиментации в форме бокового заполнения ими относительно глубоководного некомпенсированного бассейна. Важнейшим явился вывод о соответствии пласта $ВС_{10}$ Сургутского района пласту $БВ_0$ Нижневартовского, а также о переходе шельфовых пластов в зонах их регионального замещения в более косо наслоенные склоновые отложения, песчано-алевролитовые разности которых известны под названием ачимовской толщи или пачки. Такое строение нижнемелового комплекса находит принципиальное подтверждение в ряде публикаций [4, 9, 11, 12 и др.], в других же отмечается правомерность существующей унифицированной схемы неокомских отложений [1].

Материалы широтного регионального сейсмического профиля Р-I, проложенного (управление «ЗапСибнефтегеофизика», 1983 г.) через нефтедобывающие районы Среднего Приобья, в комплексе с данными глубокого бурения позволяют обосновать единую схему корреляции продуктивных пластов неокома, исключив сохранившиеся элементы неопределенности (рис. 1).

Верхнеюрско-нижнемеловой разрез Среднего Приобья по характеру волновой картины объективно расчленяется на региональные сейсмогеологические комплексы, или сейсмостратиграфические единицы, выделенные ранее на примере Федоровской площади Сургутского свода [2]: баженовский, клиноформный и шельфовый субгоризонтальнослоистый. Баженовский комплекс (включая георгиевскую свиту) представлен четким отражением, характеризующим относительно глубоководные депрессионные глинистые образования. Следующий комплекс включает интервал разреза, отличающийся широким распространением наклонных отражений, которые имеют различную, как правило, ограниченную протяженность и в совокупности создают типичные клиноформные элементы. В связи с этим комплекс можно назвать клиноформным. Наконец, третий, шельфовый субгоризонтальнослоистый сейсмокомплекс (до основания алымской свиты) образован серией субгоризонтальных отражений, имеющих слабый наклон в западном направлении, преимущественно регионально выдержанных. К нему приурочены основные продуктивные пласты неокома. Характер сочленения клиноформного и шельфового комплексов, каждый из которых охватывает фактически весь неоком, свидетельствует об их изохронности. «Граница» взаимоперехода указанных сейсмокомплексов пересекает нижнемеловые отложения от берриаса до апта по пологой диагонали с востока на запад. В сходных, хотя и имеющих свои особенности, соотношениях находятся клиноморфный и депрессионный баженовский сейсмокомплексы [4].

Стратиграфическая привязка большинства относительно выдержанных отражений осуществлялась по материалам ВСП и сейсмокаротажа путем расчета одномерных моделей непосредственно на региональном профиле, анализа результатов моделирования на прилегающих площадях, а также на основе сопоставления временного и глубинного разрезов с данными ГИС. С целью стратификации и корреляции отражений производилось также сопоставление кривых ПС, пересчитанных из глубинного во временной масштаб по программе «Тимка», с временным сейсмическим разрезом.

В качестве опорных принимались эталонные для продуктивной толщи, неокома разрезы скважин: 124 Ватинской (Нижневартовский район), 540 Усть-Балыкской и 3 Вынгинской (Сургутский район). Однако для интервала, вмещающего пласты $АВ_8$, $БВ_0$, $БВ_1$, $БВ_2$, более предпочтительными оказались разрезы запад-северо-западного склона Нижневартовского свода (Урьевская, Поточная, Покачевская, Южно-Покачевская и другие площади), отличающиеся более четким ритмичным строением и выдержанностью. Здесь в основании песчаного пласта $АВ_8$, как и в эталонном разрезе, залегает глинистая пачка толщиной 25—40 м (скв. 8 Урьевская, 2010—2046 м; скв. 108 Южно-Покачевская, 2180—2217 м и др.). Ниже, до кровли пласта $БВ_3$, уверенно прослеживаемого от эталонной скв. 124 Ватинской, выделяются два песчаных выдержанных

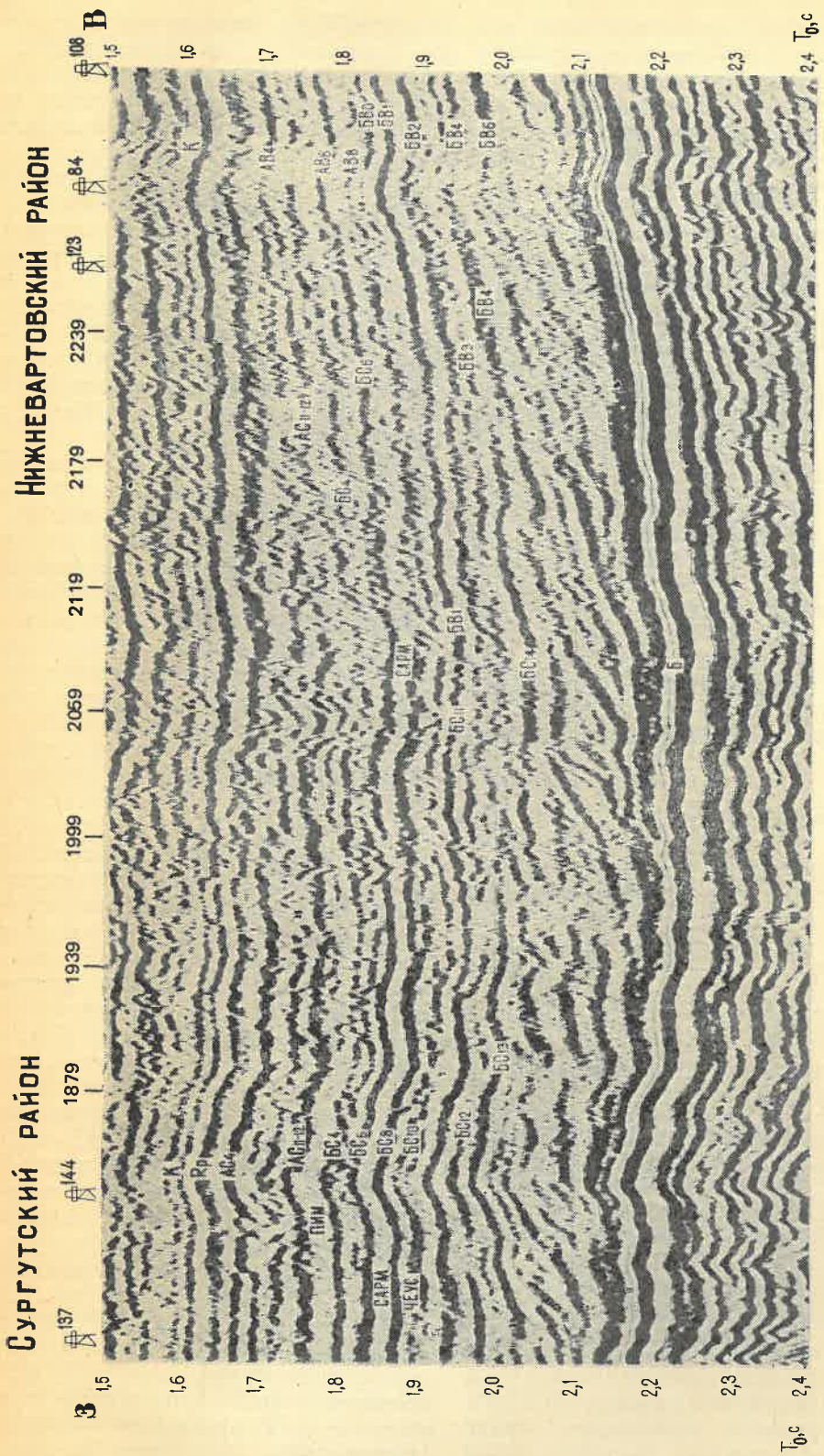


Рис. 1. Временной разрез мезозойских отложений сопредельной зоны Сургутского и Нижневартовского районов

пласта, которые индексированы как $БВ_1$ и $БВ_2$. Глинистая пачка, повсеместно перекрывающая пласт $БВ_1$, включает прослои алевролитов, местами переходящих в песчаный пласт (скв. 123 Нивагальская, 2175—2203 м). Севернее, на Нонг-Еганском, Ватьеганском и Повховском месторождениях этот пласт развит более широко и нередко толщина его превышает 20 м. В соответствии с принципом выделения нулевых пластов (например, $БС_0$ в пимской глинистой пачке) он должен быть принят за пласт $БВ_0$. Такое расчленение и индексация верхних пластов группы БВ тесно увязываются с волновой картиной на временно́м разрезе (см. рис. 1).

Интенсивное отражение, соответствующее пласту $БВ_1$ в скв. 123 и 100, прослеживается на временах 1,885 и 1,784 с. Следующие отражения однозначно идентифицируются с пластами $БВ_2$, $БВ_3$, $БВ_4$ и $БВ_6$, из которых два последних наиболее выдержаны и интенсивны. В скв. 108 Покачевской (ПК 2360) отражения, связанные с пластом $БВ_2$, фиксируется на времени 1,870 с, с $БВ_3$ — 1,905 с., с $БВ_4$ — 1,930 с. и с $БВ_6$ — 1,965 с. Пласт $БВ_5$ в этой части профиля имеет небольшую толщину и нередко представлен прослоями алевролитов, не дающих самостоятельного отражения. Наиболее четкие отражения от пластов $БВ_7$ и $БВ_8$ зарегистрированы в районе скв. 60 и 74 (Северо-Поточная площадь), что подтверждается данными бурения. По скв. 60 (ПК 2750) отражение пласта БВ имеет время 1,880 с, пласта $БВ_8$ — 1,900 с.

Пласты, более древние, чем $БВ_8$, в эталонном Ватинском разрезе в шельфовых фациях практически не представлены. Это требует выбора дополнительных эталонных разрезов для пластов $БВ_9$, $БВ_{10}$, $БВ_{11}$ и других на площадях, расположенных в зоне их преимущественного распространения.

Отражения, характеризующие шельфовые пласты $БВ_9$, $БВ_{10}$, $БВ_8$ и более древние, последовательно появляются в разрезе к востоку от скв. 133 Верхнечерногорской, наращивая снизу шельфовый комплекс. В районе скв. 2 Новомолодежного поднятия ниже отражения, идентифицированного с пластом $БВ_{10}$, выделяются еще четыре отражающих горизонта, возможно соответствующих пластам $БВ_{11}$—$БВ_{14}$. Однако, учитывая вероятность расщепления отдельных шельфовых пластов, нельзя исключать того, что некоторые из них окажутся промежуточными. Сейсмические данные позволили значительно уточнить ранее принятую индексацию пластов в разрезе Новомолодежного поднятия и в целом восточной части Нижневартовского района. Так, пласты $БВ_3$, $БВ_5$, $БВ_{6-7}$, $БВ_8$ и $БВ_{10}$, выделявшиеся ранее в разрезе скв. 2, должны индексироваться соответственно $БВ_8$, $БВ_9$, $БВ_{10}$, $БВ_{11}$ и $БВ_{12}$.

Пласты группы АВ Нижневартовского района отличаются непостоянством литологического состава, что затрудняет их корреляцию. Этим определяются и особенности волновой картины, имеющей менее упорядоченный характер, чем в разрезе пластов группы БВ. Наиболее выдержанный отражающий горизонт располагается в основании кошайской реперной пачки глин и соответствует пласту $АВ_1$. В западной части Нижневартовского свода по скв. 45 Поточной интенсивное отражение, связанное с пластом $АВ_1$, фиксируется на времени 1,54 с. Непосредственно под ним на времени 1,57 с прослеживается также относительно выдержанное интенсивное отражение, но более сложной формы, характеризующее пласты $АВ_{2-3}$. На времени 1,61 с выделяется нечеткое прерывистое отражение, которое может быть сопоставлено с пластом $АВ_4$. Наконец, достаточно интенсивные отражения на временах 1,65 и 1,69 с, следящиеся от скв. 45 в западном направлении, идентифицируются с пластами $АВ_6$ и $АВ_8$.

С запада на восток происходит быстрое сокращение мощности отложений, заключенных между кошайской пачкой и пластом $БВ_1$. Это сопровождается уменьшением числа отражений, что усложняет их корреляцию. Изменение волновой картины служит известным показателем смены фациальных палеогеографических обстановок осадконакопления. Это вполне согласуется с данными глубокого бурения о значительной литолого-фациальной изменчивости этих осадков, сопровождающей их переход в восточном направлении в прибрежно-морские и субконтинентальные.

В восточной части Сургутской зоны региональный профиль пересекает Федоровскую и Минчимкинскую площади, где разрезы большинства скважин в интервале от алымской свиты до основания пласта $БС_{10}$ не имеют существенных отличий от эталонных разрезов скв. 540 Усть-Балыкской и 3 Вынгинской. Здесь ниже отражения, соответствующего пласту $БС_{10}$, выделяются еще три основных отражающих горизонта — $БС_{11}$, $БС_{12}$ и $БС_{13}$. Наиболее выдержанный из них $БС_{11}$. Два нижних развиты только к востоку от скв. 98 Федоровская. В разрезах скв. 137 и 144 горизонт $БС_{12}$, слабо погружающийся на запад, следится на T_0 1,96 с. Восточнее скв. 137 он погружается более резко и далее не прослеживается. Нижнее отражение в районе скв. 144 (T_0 1,98 с) приурочено к реперу в глинистых отложениях, отвечающему положению кровли пласта $БС_{13}$ (скв. 143, 144 Федоровские; 1, 4, 5 Родниковые).

Выше пласта $БС_{11}$ основные интенсивные отражения по скв. 144 стратифицируются следующим образом: T_0 1,87 с — пласт $БС_{10}$; 1,84 с — $БС_{8-9}$; 1,82 с — $БС_{6-7}$; 1,678 с — $БС_{4-5}$; 1,74 с — $АС_{11-12}$; 1,66 с — $АС_4$; 1,62 с — основание алевролито-глинистой пачки (Rp), являющейся аналогом пласта $АВ_В^1$; 1,6 с — подошва кошайской пачки. В соответствии с данной стратификацией разреза надежно трассируются также пимская (под пластами $АС_{11-12}$), сармановская (под пластами $БС_{6-7}$) и чеускинская (под пластами $БС_{8-9}$) глинистые пачки. В западном направлении от скв. 144 Федоровской наиболее выдержаны и устойчивы по интенсивности отражения, связываемые с пластами $БС_{11}$, $БС_{10}$, $БС_{8-9}$, $БС_{6-7}$ и $АС_{11-12}$ и отчасти с основанием кошайской пачки. Интервалы разреза, заключенные между пластами $БС_{6-7}$ и $АС_{11-12}$, а также между $АС_{11-12}$ и кошайской пачкой, характеризуются более сложной волновой картиной, обусловленной литолого-фациальной изменчивостью соответствующих им отложений. Так, западнее скв. 87 Федоровской ниже пласта $АС_{11-12}$ и пимской пачки начинает проявляться дополнительное отражение, соответствующее пласту $БС_{1-3}$, тогда как отражение от пласта $БС_{4-5}$ постепенно затухает. Непостоянно число отражений между пластом $АС_{11-12}$ и кошайской пачкой, что обусловлено определенной литологической невыдержанностью песчаных пластов $АС_{9-10}$, $АС_{7-8}$ и др. в пределах Федоровско-Минчимкинской зоны.

Региональные сейсмические данные показали, что на Лянторском месторождении в основании шельфового комплекса залегает пласт $БС_{6-7}$, а не $БС_{8-9}$, как это считалось ранее.

Основные взаимоотношения между шельфовыми пластами неокома Нижневартовского и Сургутского районов устанавливаются в переходной зоне между Южно-Покачевской (Нивагальской) и Федоровской площадями (см. рис. 1). На этом участке сейсмического профиля единые отражающие границы совпали одновременно с сургутской и нижневартовской стратификациями.

Здесь повсеместно прослеживается отражение, связываемое с основанием кошайской пачки глин. Следующее отражение, названное нами в Сургутском районе Rp, приурочено к верхней части глинистой пачки, разделяющей пласт $АС_4$ и алевролито-глинистую пачку (аналог пласта АВ), залегающими непосредственно под кошайскими глинами. В восточном направлении происходит сближение отражений Rp и пласта $АС_4$ вследствие сокращения толщины промежуточной пачки глин. К востоку от ПК 2066 они прослеживаются как единая фаза, но в более сложной интерференционной записи; эта фаза на Нижневартовском своде связана с пластом $АВ_2$.

Временной интервал между отражениями $АС_4$ и $АС_{12}$ с запада на восток также постепенно сокращается, промежуточные отражения между пластами $АС_4$ и $АС_{11-12}$ сливаются в одну прерывистую фазу, которая после скв. 84 Южно-Покачевской не наблюдается. В разрезе Южно-Покачевской площади отражение $АС_{11-12}$ может быть отождествлено с пластом $АВ_4$, под которым в пределах Нижневартовского района намечается положение аналога пимской пачки.

В Сургутском районе ниже пимской пачки располагаются пласты

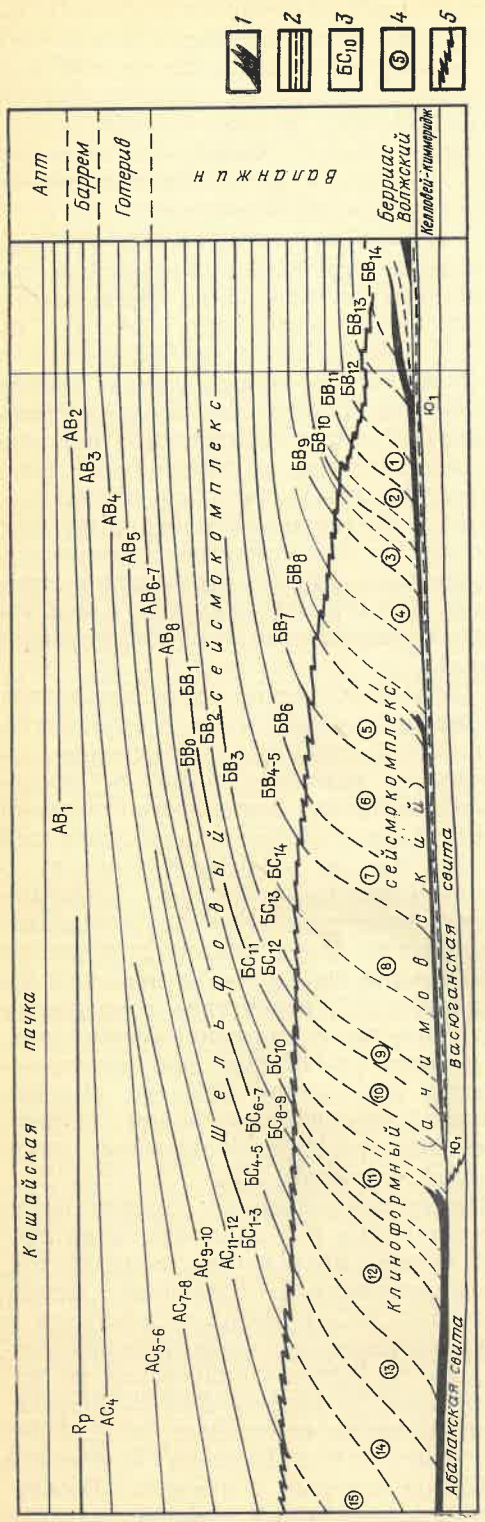


Рис. 2. Сейсмогеологическая модель верхнеюрско-неокомских отложений Среднего Приобья

1 — битуминозно-глинистые баженовские отложения литофации депрессионной (глубоководной) формации; *2* — аргиллиты георгиевской свиты; *3* — индексы продуктивных пластов Сургутского и Нижневартовского районов; *4* — границы и номера клиноформных сейсмогеологических комплексов; *5* — граница взаимоперехода шельфового и клиноформного сейсмогеологических комплексов (формаций)

группы БС, а в Нижневартовском — нижние пласты группы АВ ($АВ_{5-8}$). Наиболее уверенно в переходной зоне трассируется отражение, идентифицируемое с пластом $БС_{6-7}$ в западной ее части и $АВ_{6-7}$ в восточной. Под этим отражением определяется положение сармановской глинистой пачки и ее аналога в Нижневартовском районе.

Во всей переходной зоне однозначно выделяется интервал разреза между пластами $БС_{6-7}$ ($АВ_{6-7}$) и $БС_{11}$ ($БВ_1$). От Сургутского района на восток уверенно фиксируется отражающий горизонт $БС_{11}$, который на Нижневартовском своде соответствует пласту $БВ_1$. В том же направлении от скв. 137 Федоровской до скв. 84 Южно-Покачевской отмечается сокращение на 0,3 с интервала между пластами $БС_{6-7}$ и $БС_{11}$ ($БВ_1$). Восточнее скв. 137 и 144 до ПК 2096 четко следятся интенсивные отражения, идентифицируемые с пластами $БС_{8-9}$ и $БС_{10}$, которые постепенно сближаются, образуя преимущественно одну фазу, имеющую интерференционный характер. На отдельных участках (например, скв. 84, 108 Южно-Покачевские) снова фиксируются два экстремума, которые могут быть скоррелированы с отражениями $БС_{8-9}$ и $БС_{10}$. В указанных скважинах они идентифицируются с пластами $АВ_8$ и $БВ_0$. От скв. 84 к скв. 92 Южно-Покачевским интервал $АВ_{6-7}$ ($БС_{6-7}$) — $БВ_1$ ($БС_{11}$) вновь сокращается в основном между отражениями $БВ_1АВ_6$, которые восточнее скв. 89 отмечаются параллельно друг другу соответственно на временах 1,76 и 1,78 с. Выявленные соотношения подтверждаются данными корреляции разрезов скважин.

Таким образом, к востоку от Федоровской площади в пределы западного склона Нижневартовского свода распространяются аналоги сармановской пачки, залегающей между пластами $АВ_{6-7}$ и $АВ_8$, пласты $БС_{8-9}$, соответствующие пласту $АВ_8$ и наконец чеускинская глинистая пачка и пласт $БС_{10}$, которым здесь отвечает алевролито-глинистая пачка со спорадически развитым песчаным пластом $БВ_0$. Сокращение толщины отложений чеускинской пачки и пласта $БС_{10}$ происходит за счет существенного выклинивания песчаных фаций последнего. Ниже пласта $БС_{11}$—$БВ_1$ в переходной зоне фиксируется единое местами прерывистое отражение от пласта $БС_{12}$—$БВ_2$. Пласт $БВ_3$ Нижневартовского разреза может быть прослежен на региональном профиле с востока на запад до ПК 2036, после которого предполагается его раздвоение. Верхний экстремум распространяется на запад как пласт $БС_{13}$, песчанистые фации которого, по-видимому, развиты ограниченно.

В районе ПК 2216—2156 между фазами $БВ_3$ и $БВ_4$ выделяется еще одно отражение (промежуточное), которое на ПК 2156 имеет T_0 2,0 с, связанное с нижним продуктивным песчаным пластом, вскрытым на Родниковой площади; оно может быть отнесено к пласту $БС_{14}$. Ниже этого пласта в шельфовом сейсмокомплексе Сургутского района аналоги Нижневартовских пластов отсутствуют. Восточнее границы выклинивания пласта $БС_{14}$ наблюдается последовательное наращивание нижней части шельфового комплекса за счет пластов от $БВ_4$ до $БВ_{14}$.

Анализ сейсмогеологических материалов позволил построить единую модель верхнеюрско-неокомских отложений (рис. 2) и обосновать единую схему корреляции продуктивных пластов неокома Сургутского и Нижневартовского районов (рис. 3). Отложения шельфового сейсмокомплекса, вмещающего указанные пласты, в направлении к центральной части бассейна фациально замещаются клиноформными (склоновыми) образованиями (см. рис. 1, 3). Основными элементами последних являются крупные линзовидные тела — клиноформы, которые выклиниваются на запад и значительно утоняются, переходя в шельфовые слои, на восток. В пределах профиля Р-1 может быть выделено до 15 клиноформ. Стратиграфический объем каждой из них соответствует сравнительно небольшому интервалу шельфового разреза, включающему от одного до трех песчано-глинистых ритмитов (т. е. индексированных песчаных пластов и смежных глинистых пачек). Установление пространственно-временных соотношений между отдельными частями шельфового и клиноформного комплексов может служить основой прикладной «стратификации» и регионального картирования одновозрастных клиноформ и подчиненных им песчаных (ачимовских) слоев. Существующая в настоящее время номенклатура песчаных ачимовских пластов не учитывает косослоистую структуру комплекса и требует кардинального пересмотра.

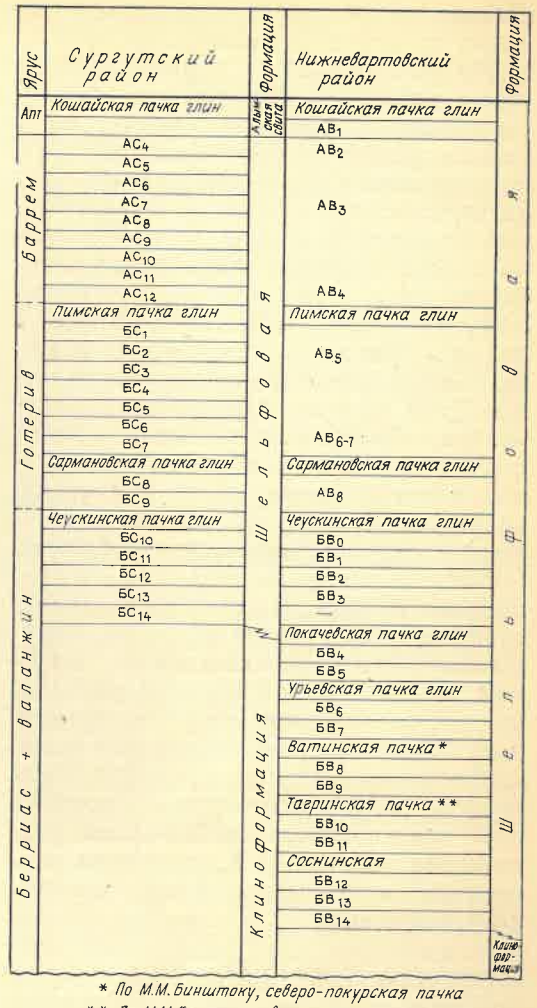


Рис. 3. Единая схема корреляции продуктивных пластов неокома Среднего Приобья

Однако рассмотрение этой задачи выходит за рамки настоящей статьи.

Представленная корреляционная схема характеризует систему преимущественно изохронных сейсмогеологических границ, на основе которых должен строиться пространственный стратиграфический «скелет» нижнемеловых отложений. В связи с этим возникает необходимость приведения в соответствие с этой системой положения ярусных стратиграфических границ в разных сейсмогеологических комплексах (формациях). В региональных схемах 1978 г. они проведены неоднозначно. Требуют обсуждения и пересмотра сложившиеся ранее содержания понятий «мегионская» и «вартовская» свиты, вопросы их взаимоотношений, стратиграфических объемов, положения, природы и принципов проведения границ, соответствия стратиграфическому кодексу и другие вопросы научного и практического значения. Независимо от этого разработанная корреляционная схема продуктивных пластов создает основу для выделения единых нефтегазоносных резервуаров, геолого-структурных построений, исследования особенностей размещения залежей УВ, уточнения перспектив нефтегазоносности неокомских отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брадучан Ю. В.* Биостратиграфические предпосылки сопоставления неокомских отложений центральной части Западно-Сибирской равнины. — В кн.: Стратиграфия и фации фанерозоя Западной Сибири. Тюмень, 1982, с. 5—19 (Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 169).
2. *Гогоненков Г. Н., Михайлов Ю. А.* Сейсмостратиграфические подразделения нефтегазоносных осадочных толщ Западной Сибири. — Геология нефти и газа, 1983, № 7, с. 49—56.
3. *К вопросу* о размещении литологических залежей нефти в Среднем Приобье/ М. М. Бинштук, Т. М. Онищук, А. Л. Наумов и др. — Тр. Тюмен. индустр. ин-та, 1977, вып. 64, с. 70—75.
4. *Мкртчян О. М.* О новой модели строения и формирования баженовской свиты Западной Сибири. — Нефтегазовая геология, геофизика и бурение, 1984, № 7, с. 1—5.
5. *Наумов А. Л.* К методике реконструкции рельефа дна Западно-Сибирского раннемелового бассейна. — Геология и геофизика, 1977, № 10, с. 38—47.
6. *Наумов А. Л., Онищук Т. М., Бинштук М. М.* Об особенностях формирования разреза неокомских отложений Среднего Приобья. — Тр. Тюмен. индустр. ин-та, 1977, вып. 64, с. 39—46.
7. *О литологических* залежах углеводородов на севере Западной Сибири/А. Л. Наумов, Т. М. Онищук, Н. П. Дядюк и др. — Геология нефти и газа, 1979, № 8, с. 15—20.
8. *Онищук Т. М., Наумов А. Л., Векслер Л. А.* Корреляция продуктивных пластов нижнего мела в Среднеобской НГО.— Геология нефти и газа, 1977, № 6, с. 32—37.
9. *Особенности* корреляции шельфовых отложений неокома Среднего Приобья с применением сейсморазведки МОГТ/Н. Х. Кулахметов, В. М. Никитин, Г. С. Ясович и др. — Геология нефти и газа, 1983, № 5, с. 44—48.
10. *Региональные* стратиграфические схемы мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской равнины. Под ред. И. И. Нестерова. Тюмень, изд. ЗапСибНИГНИ, 1981.
11. *Рудкевич М. Я., Корнев В. А., Нежданов А. А.* Формирование неантиклинальных ловушек в меловых отложениях Западно-Сибирской плиты и методика их поисков. — Геология нефти и газа, 1984, № 8, с. 17—23.
12. *Трушкова Л. Я.* Формация и условия нефтегазоносности в неокоме южной половины Западно-Сибирской плиты. — В кн.: Условия нефтегазоносности и особенности формирования месторождений нефти и газа на Западно-Сибирской плите. Л., 1980, с. 34—48.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.314(574.1)

А. А. РАБИНОВИЧ, В. И. ПОПКОВ, Н. И. МИХАЙЛЕНКО, В. П. ПАЛАМАРЬ (КазНИПИнефть)

Гидрогеологические особенности доюрского разреза Южного Мангышлака

На ряде площадей Южного Мангышлака из среднетриасово-палеозойских отложений получены притоки воды пониженной минерализации (20—60 г/л), образующей по отношению к юрским и верхнетриасовым рассолам

(140—190 г/л) резко выраженную гидрохимическую инверсию. Причина этого различными исследователями [2, 8, 11] трактуется неоднозначно. Одни из них отстаивают точку зрения о древнеинфильтрационном генезисе опресненных вод [2, 11], другие образование низкоминерализованных вод связывают с процессами дегидратации глинистых пород в процессе их уплотнения [8]. Однако обе точки зрения не могут дать удовлетворительного ответа.

Воды пониженной минерализации в триасе тяготеют к вулканогенно-карбонатному комплексу пород, выходящему на предъюрскую поверхность размыва лишь в пределах северного борта Южно-Мангышлакского прогиба и Аксу-Кендырлинской зоны (рис. 1). В районе Песчаномысско-Ракушечной зоны сводовых поднятий он перекрыт более чем 200-метровой толщей вулканогенно-терригенных образований верхнего—среднего триаса, содержащих высокоминерализованные воды. Объяснить здесь гидрохимическую инверсию древней инфильтрацией атмосферных вод невозможно. Да и в пределах районов выхода вулканогенно-карбонатного комплекса на эрозионную предъюрскую поверхность понижение степени минерализации триасовых вод проявляется не повсеместно.

Таким образом, не отрицая возможности захоронения древнеинфильтрационных вод в доюрском разрезе, нельзя связывать наблюдаемое снижение минерализации пластовых вод только с этим процессом. Не исключено участие и воды, образовавшейся в процессе дегидратации глин. Однако «пятнистый» характер распространения слабоминерализованных вод, не согласующийся к тому же с глубиной залегания вмещающих их пород, говорит о том, что и эта гипотеза не может претендовать на универсальность. Более того, как свидетельствуют лабораторные исследования, монтмориллонит даже при глубинах залегания 3,5—4 км практически не переходит в гидрослюду, что может быть связано со щелочной обстановкой окружающей среды, являющейся своего рода «консервантом» [12].

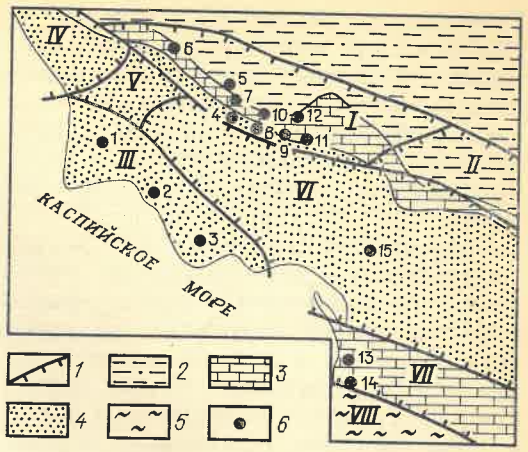


Рис. 1. Палеогеологическая карта доюрской поверхности Южно-Мангышлакского прогиба

I — границы тектонических элементов: *I* — Жетыбай-Узеньская ступень, *II* — Кокумбайская ступень, *III* — Песчаномысско-Ракушечная зона сводовых поднятий, *IV* — Сегендыкская депрессия, *V* — Карагиинская седловина, *VI* — Жазгурлинская депрессия, *VII* — Аксу-Кендырлинская ступень, *VIII* — Карабогазский свод; *2—5* — выход на доюрскую поверхность: *2* — алеврит-аргиллитовых отложений нижнего триаса, *3* — вулканогенно-карбонатных отложений нижнего и среднего триаса, *4* — вулканогенно-терригенных отложений верхнего и среднего триаса, *5* — пород фундамента; *6* — площади, по которым имеются данные о химическом составе подземных вод доюрских образований: 1 — Оймаша, 2 — Жиланды, 3 — Ракушечная, 4 — Южный Жетыбай, 5 — Жетыбай, 6 — Северо-Западный Жетыбай, 7 — Бектурлы, 8 — Западный Тасбулат, 9 — Тасбулат, 10 — Актас, 11 — Западное Теньге, 12 — Шинжир, 13 — Темирбаба, 14 — Карааудан, 15 — Каунды

Приведенные сведения свидетельствуют о сложности данной проблемы, для решения которой требуется всесторонний и детальный анализ гидрогеологических материалов в комплексе с геолого-геофизической информацией, полученной в последние годы.

В строении разреза триасовых отложений принимают участие три литологических комплекса пород: вулканогенно-терригенный (верхний триас и верхи среднего триаса), вулканогенно-карбонатный (средний триас, а также верхний оленек в пределах Жетыбай-Узеньской ступени) и алеврито-аргиллитовый (нижний триас). Наибольшим площадным распространением пользуются алеврито-аргиллитовые, наименьшим — вулканогенно-терригенные образования, сохранившиеся от предъюрского размыва в наиболее погруженных зонах Южно-Мангышлакского прогиба (см. рис. 1).

Притоки пластовых вод получены из всех частей триасового разреза, но наиболее представительный фактический материал имеется для Северо-

Ракушечной, Южно-Жетыбайской и Оймашинской площадей, где в триасовых отложениях открыты промышленные залежи углеводородов, а на последней, кроме того, доказана продуктивность и магматических, и метаморфических образований фундамента.

Систематизация данных по Северо-Ракушечному месторождению показала, что характерной чертой гидрогеологии данной структуры является резкое отличие в степени минерализации между подземными водами вулканогенно-терригенного комплекса пород и подстилающих отложений. Например, в скв. 22 в интервале 3810—3831 м (вулканогенно-терригенный комплекс) общая минерализация пластовой воды составляет 126 г/л, в то время как в более глубоких интервалах (3868—3920, 3968—3985, 3938—4101 и 4000—4100 м), отвечающих вулканогенно-карбонатной и алеврито-аргиллитовой частям разреза, минерализация составляет 53,0; 36,1; 55,6 31,3 г/л соответственно. Подобное соотношение наблюдается и в других скважинах.

Коллекторы верхней части триасового разреза повсеместно содержат воды с минерализацией 117—150 г/л, хлоридно-кальциевого типа (по классификации В. А. Сулина), относительно повышенной сульфатности (0,1—0,7 %, или 57,6—202,0 мг/л) и удельной массой 1,07—1,09 г/см³. В толще пород среднего (вулканогенно-карбонатная часть) и нижнего триаса распространены сравнительно опресненные воды (23—70 г/л), в основном хлоркальциевого, реже сульфатно-натриевого (скв. 24, интервал 3710—3800 м) и хлормагниевого (скв. 25, интервал 3400—3640 м) типов. Удельная масса снижена до 1,03—1,04 г/см³, показатель pH наоборот повышен до 6—7. Концентрация SO_4^{2-}-иона иногда достигает 3,5 %, что соответствует 1999,0 мг/л (скв. 28, интервал 3620—3703 м), а гидрокарбонат-иона 1,7 %, или 1000,4 мг/л, (скв. 26, интервал 3758—3848 м). Из металлов преобладает Na^+, концентрации Ca^{2+} и Mg^{2+} ниже, чем в юрских и верхнетриасовых водах. Концентрации йода снижаются до 2—3 мг/л, брома до 40—90 мг/л, аммония до 25—70 мг/л, а бора в большинстве случаев превышают таковые для юрских вод на 15—20 мг/л. Для состава водорастворенных газов всех отделов триаса характерно преобладание метана и его гомологов (60—90 %), на долю азота приходится 4—7 %, углекислого газа 2—26 %.

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что воды нижнего и большей части среднего триаса образуют гидрохимическую инверсию по отношению к водам вулканогенно-терригенного триаса, которые по своему химическому составу тяготеют к юрским.

В верхнем триасе площади Южный Жетыбай распространены рассолы (157—159 г/л) хлоркальциевого типа с удельной массой 1,11 г/см³ и низкими значения pH (порядка 4—5). Воды практически бессульфатны, гидрокарбонат-ион присутствует в незначительных количествах. В катионном составе преобладает Na^+ (33—35 %), кальция 10—14 %, магния 1,53 %. Эти показатели свидетельствуют о сходстве макрокомпонентных составов верхнетриасовых и юрских вод месторождения Южный Жетыбай. То же можно сказать в отношении йода, брома, аммония и водорастворенных газов.

Подземные воды, содержащиеся в коллекторах вулканогенно-карбонатной части среднего триаса, существенно отличаются от верхнетриасовых. Минерализация их падает до 50 г/л при хлоркальциевом типе вод, удельная масса снижается до 1,03 г/см³, pH приближается к 7. Долевое участие ионов Na^+, SO_4^{2-} и HCO_3^- в общем составе повышается, концентрация брома уменьшается. Воды глубоких интервалов данной части разреза имеют еще более низкую степень минерализации (18—26 г/л), тип их гидрокарбонатно-натриевый, удельная масса 1,01 г/см³, pH более 7.

На месторождении Оймаша также можно говорить об инверсионной вертикальной гидрохимической зональности триасовых вод. Так, из терригенного триаса в скв. 9 отобраны пробы воды хлоркальциевого типа с минерализацией 148 г/л. Вулканогенно-карбонатный комплекс содержит в одних случаях воды хлоркальциевого типа, но менее минерализованные (83,4 г/л

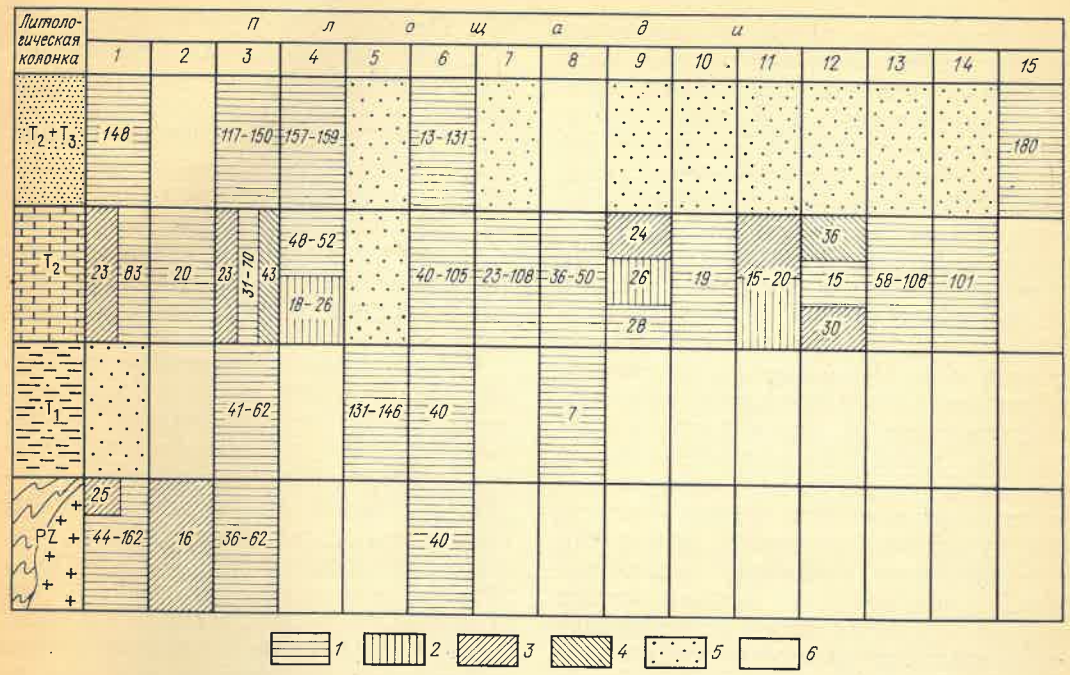


Рис. 2. Гидрохимические особенности подземных вод доюрского разреза

Типы вод, по В. А. Сулину: *1* — хлоридно-кальциевые, *2* — гидрокарбонатно-натриевые, *3* — сульфатно-натриевые, *4* — хлоридно-магниевые; *5* — отсутствие отложений данного возраста в разрезе; *6* — анализы отсутствуют, цифры показывают минерализацию вод, г/л; остальные усл. обозн. см. рис. 1

по скв. 10), в других — воды сульфатно-натриевого типа с минерализацией 20—23 г/л (скв. 11).

Полученные из палеозойского фундамента воды представляют собой либо высокоминерализованные рассолы (150—160 г/л по скв. 12 и 13), либо опресненные сульфатно-натриевого типа с минерализацией 23—26 г/л (скв. 11, 17, 18).

При сопоставлении результатов химических анализов по рассмотренным трем месторождениям с остальными площадями, расположенными в различных структурно-тектонических зонах Южного Мангышлака, можно заметить, что к вулканогенно-терригенной части разреза триаса в основном приурочены наиболее высокоминерализованные воды (120—160 г/л), мало отличающиеся от юрских рассолов, тогда как вулканогенно-карбонатный комплекс содержит опресненные (15—70 г/л) воды различных типов (рис. 2). Исключение составляют подземные воды из нижней части разреза площадей Жетыбай (скв. 25, интервал 2740—2730 м) и Карааудан (скв. 5, интервал 3035—3010 м), общая минерализация которых соответственно 146 и 161 г/л при хлоркальциевом типе. На площадях Северо-Западный Жетыбай, Бектурлы, Темирбаба аналогичный интервал разреза содержит различные по общей минерализации воды (от 22 до 147 г/л).

К палеозойскому фундаменту площадей Жиланды, Ракушечное и Северо-Западный Жетыбай приурочены опресненные (16—62 г/л) воды, сходные с распространенными в вышележащих отложениях триасовой системы. В палеозое Оймаши встречены как опресненные, так и высокоминерализованные воды.

Итак, на большей части разбуренных площадей Южного Мангышлака отмечается гидрохимическая инверсия подземных вод среднетриасово-палеозойских отложений, заключающаяся в снижении их минерализации по сравнению с водами более молодых отложений. Изучение литологии вмещающих пород-коллекторов показало, что основная масса опресненных вод приурочена к вулканогенно-карбонатным отложениям, отличающимся низкими емкостно-фильтрационными свойства-

ми. Подземные воды вулканогенно-терригенных отложений верхней части триасового разреза, обладающего удовлетворительными емкостью и проницаемостью, сходны по составу с юрскими, поэтому представляется логичным объединение их в единый водоносный комплекс.

Что касается генезиса слабоминерализованных вод в доюрском разрезе Мангышлака, то главная роль в их образовании отводится конденсационным водам. Основным их источником являются газопарожидкие флюиды, поступающие из более глубоких зон земной коры. Ряд исследователей, признавая теоретическую возможность образования жидкой фазы в пластовых условиях, основным препятствием подобному механизму формирования опресненных вод считают относительно малый их объем по сравнению с количеством пластовых рассолов [5, 6, 10]. Применительно к вулканогенно-карбонатным и алевро-аргиллитовым отложениям Мангышлака, а тем более образованиям фундамента, этот аргумент теряет свою силу, так как вследствие низких их емкостных свойств водообильность пород незначительна. Об этом свидетельствуют материалы лабораторных анализов коллекторских свойств [13], а также результаты опробования перспективных на нефть и газ горизонтов, указывающие на широкое развитие «сухих» интервалов. В этих условиях образование даже небольших объемов конденсационных вод может привести к формированию очагов пониженной минерализации пластовых флюидов. В то же время в вышележащих вулканогенно-терригенных образованиях, обладающих лучшими коллекторскими свойствами и соответственно более высокой водообильностью, эффект опреснения будет затушеван.

В формировании эффективной емкости в низкопроницаемом разрезе доюрских образований большое значение имеют процессы выщелачивания, наиболее интенсивно протекающие в участках повышенной тектонической трещиноватости, т. е. в зонах активных разломов [9]. Мигрирующие по разрывам глубинные флюиды, как известно, насыщены углекислотой, что подтверждается и в наших условиях [4]. Последняя в условиях повышенных температур обладает высокой агрессивностью по отношению к силикатным и особенно карбонатным породам, что ведет к их выщелачиванию и образованию очагов полезной емкости, способных аккумулировать флюиды (как конденсационные воды, так и углеводороды). Примечательно, что для таких зон характерны повышенные пластовые давления и температуры.

Подтверждением того что глубинные опресненные воды не являются первичными (захороненными) пластовыми флюидами, является возрастание минерализации попутных вод нефтяных залежей в триасовых отложениях в процессе их разработки. Так, после нескольких лет эксплуатации объекта в разрезе среднего триаса произошло обводнение скв. 9 Оймаша. Законтурные воды характеризуются повышенной минерализацией (около 140 г/л) и резким (до двух порядков) возрастанием содержания рубидия, цезия, стронция и др. Подобные случаи имели место и на месторождениях Восточного Предкавказья — Юбилейное, Солончаковское, Восточно-Сухокумское [7].

Следовательно, пластовые воды триаса являются, как и юрские, высокоминерализованными, но отличаются от них более высокой концентрацией ряда редких щелочных металлов. Слабоминерализованные же воды чужеродные и образовались в более позднее время. Глубинный их генезис подтверждается и изотопными данными [7]. Так, если воды юрских горизонтов имеют значения $\delta D = -42 \div 44$ ‰, то в триасовых отмечается обеднение дейтерием ($\delta D = -55 \div 60$ ‰). Наблюдаемый сдвиг изотопного состава вод нижней части разреза в сторону линии Крейга связывается с изотопным обменом седиментационной воды с глубинными углекислотой и водородом, приведшим к облегчению изотопного состава кислорода и водорода воды [7].

Несомненна молодость аномалий глубинных опресненных вод, поскольку рассматриваемая территория испытала неоднократные тектонические перестройки, сопровождавшиеся образованием новых систем трещин и разрывов и, следовательно, увеличением проницаемости разреза, что должно было привести к выравниванию минерализации вод в доюрском разрезе.

Таким образом, воды пониженной минерализации, имеющие очаговый характер распространения, в доюрском разрезе являются чужеродными по отношению к вмещающим их отложениям; последние исходя из закономерной направленности метаморфизации пластовых вод, повышающейся с глубиной, должны содержать высокоминерализованные рассолы, близкие по своей характеристике к водам верхнего триаса. Образование их связывается с конденсацией газопарожидких флюидов, мигрирующих по разломам из более глубоких горизонтов земли. Получение притоков низкоминерализованных вод указывает на наличие в доюрских низкопроницаемых породах участков развития вторичных коллекторов, которые могут содержать промышленные скопления нефти и газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ежов Ю. А.* Закономерности распространения химической инверсии в подземной гидросфере. — Сов. геология, 1981, № 1, с. 106—111.
2. *Клещев А. А., Пожарисская Г. Ф., Строганов В. П.* О влиянии предъюрского размыва на формирование нефтяных залежей в глубокозалегающих триасовых отложениях Восточного Предкавказья и Южного Мангышлака. — Нефтегазовая геология и геофизика, 1983, № 7, с. 2—3.
3. *Колодий В. В.* Подземные конденсационные и солюционные воды нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений. Киев, Наукова думка, 1975.
4. *Корценштейн В. Н., Карасева А. П.* Первые данные по сверхглубоким подземным водам триасовых отложений Южного Мангышлака. — Докл. АН СССР, 1976, т. 231, № 6, с. 1430—1433.
5. *Лагунова И. А.* Условия проявления и особенности формирования вод пониженной минерализации в глубоких зонах осадочных бассейнов. — Сов. геология, 1979, № 2, с. 48—61.
6. *Лагунова И. А., Капченко Л. Н.* Гидрохимические закономерности размещения зон нефтегазонакопления в пределах молодых платформ. — Геология нефти и газа, 1981, № 2, с. 42—47.
7. *Медведев С. А.* Инверсия вертикальной химической зональности подземных вод Скифско-Туранской артезианской области в связи с оценкой металлоносности. — В кн.: Проблемы изучения, охраны и рационального использования водных ресурсов. М., ИВП АН СССР, 1983, с. 264—265.
8. *Оруджева Д. С., Морозов Л. И.* Нефтегазоносность пермо-триасовых отложений Южного Мангышлака. — Геология нефти и газа, 1979, № 1, с. 22—26.
9. *Паламарь В. П., Попков В. И., Рабинович А. А.* К методике поисков залежей углеводородов в доюрском разрезе Южного Мангышлака. — В кн.: Повышение эффективности разведки и разработки нефтяных месторождений. Грозный, 1982, с. 3—7.
10. *Рачинский М. З.* Конденсационные воды газовых и газоконденсатных залежей. М., Недра, 1981.
11. *Семашев Р. Г.* Гидрогеологические особенности нефтегазоносных триасовых отложений Южного Мангышлака. — Геология нефти и газа, 1979, № 12, с. 29—35.
12. *Фербридж Р. У.* Фазы диагенеза (диагенез в узком смысле, катагенез и гипергенез) и аутигенное минералообразование. — В кн.: Диагенез и катагенез осадочных образований. М., Мир, 1971, с. 27—91.
13. *Чербянова Л. Ф., Попков В. И., Пронякoв В. А.* Литологические особенности и коллекторские свойства триасового вулканогенно-карбонатного комплекса Южного Мангышлака. — Геология нефти и газа, 1984, № 11, с. 55—59.

Contents

Kozlovskiy E. A.
Geology in the national economy . . 3

SCIENTIFIC TECHNICAL PROGRESS IN GEOLOGY

Krivtsov A. I., Volchkov A. G., Migachev I. F., Minina O. V., Oton Kh.
„Prediction-search-appraisal" system for non-ferrous metal deposits 14

METHODOLOGY, ECONOMICS, MANAGEMENT

Kabyshev B. P., Chuprynin D. I.
Prediction investigation procedure for the developed oil and gas regions . . . 20

Burova E. M., Malov V. M., Sidorenko G. A., Shchedrin B. M.
Automatized qualitative phase analysis of mineral mixtures through the use of computers 30

ENERGY RESOURCES

Kalinin N. A.
On the problem of the origin of oil and gas 34

Nesterov V. N.
On the reasons of the formation of regenerated coal 38

METALS AND NON-METALS

Arkhangelskaya V. V.
Rare metal deposits in the alkaline meta somaites 41

Ivankin P. F., Inshin P. V., Nazarova N. I.
Features of depositing gold in black slate zones 52

STRATIGRAPHY AND PALEOGEOGRAPHY

Papulov G. N., Ediger I. S.
Correlaton of the Cretaceous sediments in the Urals and in the West Siberian Plate 60

Fedorova T. I., Shchekochikhina V. M.
New data on the Devonian stratigraphy of the Saratovskoe Povolzh'e . . . 68

REGIONAL GEOLOGY AND TECTONICS

Seslavinskiy K. B.
Comparison of the regime of evolution of platforms and mobile belts surrounding them 70

Strelnikov S. I.
Alalysis of the Sette-Daban structure and adjacent territories on the basis of space images 81

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

Grechukhin V. V., Voevoda B. I., Daragan V. N., Savchenko A. V., Ivanov L. A.
Petrophysical studies of coal-bearing deposits of the Donets Basin 89

Dominikovskaya D. A., Vakhrushev V. A.
Geologic position and presence of ore in Precambrian gabbroids in Belorussia . . 102

GEOPHYSICS AND DEPTH STRUCTURE

Popov B. A., Ryzhiy B. P.
Geophysical investigations while predicting, searching and exploring ore minerals deposits 109

Mkrtchan O. M., Belkin N. M., Degtev V. A.
Seismologic proof of the single scheme of correlation of the Necomian offshore productive beds in the Srednee Priob'e . . 115

HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

Rabinovich A. A., Popkov V. I., Mikhaylenko N. I., Palamar V. P.
Hydrogeologic features of the Prejurassic section of the Soth Mangyshlak . . . 122

Цена 1р.60к.

Индекс 70824

СОВЕТСКАЯ ГЕОЛОГИЯ, 1985, № 11, 1-128