

СОВЕТСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

ISSN 0038-5069

7 / 1984

**XXVII
СЕССИЯ
МГК**



Ежемесячный
научный журнал

4—14 августа 1984 года
в Москве
состоится
**XXVII Международный
геологический
конгресс**

СОВЕТСКАЯ 7/1984 ГЕОЛОГИЯ

**XXVII
международный
геологический
конгресс**

**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. Геодекан,
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. Зо-
лотов, 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, Н. И. Погребнов, В. Н. Полуэк-
тов (зам. главного редактора), Н. Н. Предтеченский,
Д. А. Родионов, Е. И. Семенов, В. В. Семенович,
Л. Н. Смирнов, П. Н. Сторчак, В. С. Сурков,
К. И. Сычев, М. А. Фаворская, А. С. Филько,
Н. И. Хитаров, А. Л. Яншин, В. А. Ярмолюк



МОСКВА, «НЕДРА»

Издательство «Недра»,
«Советская геология», 1984

XXVII СЕССИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КОНГРЕССА

Козловский Е. А., Яншин А. Л.
Геология Советского Союза: достиже-
ния и перспективы 3

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ
И ТЕКТНИКА

Межеловский Н. В., Натанов Л. М., Му-
сатов Д. И., Еремич В. К.
Региональное геологическое изучение
территории СССР — на современную
тектоническую основу 11

Красный Л. И.
Глобальная делимость литосферы в све-
те геоблоковой концепции 17

Граммберг И. С., Косько М. К., Лазур-
кин В. М., Погребницкий Ю. Е.
Основные этапы и рубежи развития
Арктической континентальной окраины
СССР в неогее 32

Сурков В. С., Коробейников В. П., Же-
ро О. Г., Гришин М. П., Щеглов А. П.,
Старосельцев В. С., Смирнов Л. В., Ми-
куленко К. И.
Эволюция и глубинная структура зем-
ной коры Сибири 41

ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
СЫРЬЕ

Хан В. Е., Соколов Б. А.
Окраины континентов — главные нефте-
газоносные зоны Земли 49

Наливкин В. Д., Гольдберг И. С., Круг-
ликов Н. М., Лазарев В. С., Сахибгаре-
ев Р. С., Сверчков Г. П., Симаков С. Н.
Процессы разрушения залежей нефти и
газа и оценка потерь углеводородов 60

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ

Гинзбург А. И., Еремеев А. Н., Остроу-
мов Г. В.
Интенсификация освоения минеральных
ресурсов 70

ГЕОФИЗИКА

Карус Е. В., Кузнецов О. Л.
Импульсная нейтрометрия и широко-
полосная геоакустика глубоких скважин 78

РУДНОЕ И НЕРУДНОЕ
МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

Левицкий В. В., Демин Б. Г., Хре-
нов П. М., Бабурич Л. М., Развозжае-
ва Э. А.
Периодичность минеральных и металло-
органических соединений в процессах
рудо- и нефтеобразования 87

Сидоров А. А.
Группы золотоносных формаций . . . 96

СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

[Кратц К. О.] Негруца В. З., Соко-
лов В. А., Богданов Ю. Б., Гаскель-
берг В. Г., Загородный В. Г., Негру-
ца Т. Ф., Семихатов М. А., Шур-
кин К. А.
Новое в изучении стратиграфии докем-
брия советской части Балтийского щита 105

ХРОНИКА

Романовский С. И.
Петербургская (1897 г.) и Московская
(1937 г.) сессии Международного гео-
логического конгресса 119

Жариков В. А., Попова М. Я.
Вузы и научно-исследовательские орга-
низации к XXVII Международному гео-
логическому конгрессу 121

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

Сдано в набор 24.05.84. Подписано в печать 20.06.84. Т-14404. Формат 70×108¹/₁₆.
Печать высокая. Усл. печ. л. 11,2. Усл. кр.-отт. 11,72. Уч.-изд. л. 13,28.
Тираж 3600 экз. Заказ № 1047.

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



XXVII СЕССИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КОНГРЕССА

УДК 55+553.04(47+57)

Е. А. КОЗЛОВСКИЙ (Мингео СССР), А. Л. ЯНШИН (АН СССР)

Геология Советского Союза: достижения и перспективы

Советские геологи с удовлетворением восприняли решение Генеральной ас-самблеи XXVI сессии Международного геологического конгресса о прове-дении в 1984 г. XXVII сессии МГК в СССР. Зарубежные участники конгресса смогут ознакомиться с достиже-ниями советской геологической шко-лы, с успехами нашей теоретической, экспериментальной и полевой геоло-гии. В свою очередь, советские геоло-ги с интересом воспримут идеи и ме-тодические разработки иностранных коллег. Творческие дискуссии на конгрессе будут способствовать выработке общих взглядов на геологическое строение и историю развития Земли.

Со времени XVII сессии Междуна-родного геологического конгресса, ко-торая была проведена в Москве в 1937 г., значительно повысилась гео-логическая изученность территории СССР, дальнейшее развитие получили геологические науки, многократно уве-личены разведанные запасы минераль-ного сырья, возросли темпы их освое-ния.

Геологическая изученность. Терри-тория СССР уникальна как по разме-рам, так и по разнообразию геологи-ческих структур. Она включает круп-нейшие Восточно-Европейскую и Си-бирскую древние платформы с Бал-тийским, Украинским, Алданским и Анабарским щитами, значительные части Урало-Монгольского, Средизем-номорского и Тихоокеанского фанеро-зойских складчатых поясов. Каждая из этих мегаструктур состоит из ряда геологических регионов, обладающих специфическими особенностями строе-ния и истории развития, а также опре-деленным комплексом полезных иско-паемых. Проведению региональных геологических, геофизических и геохи-мических работ с целью их изучения придается большое значение.

Если к концу 30-х годов была изу-чена только половина территории

страны, причем в основном мелкомас-штабными геологическими съемками, то к настоящему времени она практи-чески полностью покрыта среднемасш-табными (1:200 000) съемками. В крупных масштабах (1:50 000 и круп-нее) заснято около 30 % ее террито-рии, важнейшие горнопромышленные районы исследованы в этих масшта-бах на 70—80 %, а некоторые из них полностью. Изучение геологического строения территории страны проведе-но на единой научной и методической основе с использованием унифициро-ванных палеонтологически охаракте-ризованных стратиграфических схем, а также корреляции разнофациальных синхронных комплексов свит и форма-ций, магматических и метаморфиче-ских образований с учетом данных абсолютной геохронологии.

Достижения геологических наук. Изучение геологического строения земных недр, поиски, разведка и гео-лого-экономическая оценка месторож-дений полезных ископаемых осущест-вляются на основе достижений геоло-гических наук, полученных за послед-ние десятилетия.

Стратиграфия и палеонто-логия. Проведена большая работа по обеспечению надежной корреляции крупных стратиграфических подразде-лений в пределах геологических ре-гионов, между регионами и для тер-ритории страны в целом. Разработан-ные унифицированные, корреляцион-ные и рабочие схемы расчленения комплексов архея, протерозоя и всех систем фанерозоя легли в основу ле-генд государственных геологических карт СССР масштаба 1:1 000 000 и 1:200 000, использовались они также при подготовке стратиграфической ба-зы крупномасштабной съемки. Однако для ведения последней необходимы дополнительные палеонтологические и биостратиграфические работы.

Внедрение в стратиграфию наряду с палеонтологическими (в том числе микропалеонтологическими) также палеоэкологических и физических методов исследований создало условия для дальнейшего развития как региональной, так и глобальной стратиграфии. Сочетание этих методов позволяет подходить к широким корреляциям дробных стратиграфических подразделений.

Минералогия. Использование достижений физики твердого тела, кристаллохимии и физической химии, а также современных методов изучения вещества (электронной микроскопии, электронного микрозондирования, рентгеноструктурных, лазерно-оптических и спектроскопических исследований) позволило проникнуть в недоступные ранее области внутреннего строения минералов. Выявлено, что в самих минеральных ассоциациях, составе, структуре и свойствах слагающих их минералов заключена значительная информация об условиях их возникновения и последующего преобразования; это дает возможность расшифровывать физико-химическую обстановку процессов минералообразования. На этой основе успешно развивается теория эндогенного, экзогенного и метаморфогенного минерало- и рудообразования. Развитие идей А. Е. Ферсмана о типоморфизме минералов привело к возникновению нового направления — поисковой минералогии, способствующей повышению эффективности поисков и оценки месторождений полезных ископаемых, особенно при рациональном комплексировании ее с геохимическими и геофизическими методами.

Минералогические исследования сыграли значительную роль в открытии, изучении и промышленном освоении новых видов минерального сырья: алюминиевого (нефелиновые сиениты и алуниты), бериллиевого (гентгельвиновые и берtrandит-фенакитовые руды), борного (датолиты, данбуриды), танталового и ниобиевого (микролиты, редкоземельные, плюмбопироксены), циркониевого (бадделейт), а также нерудного (цеолиты, криолит, брусит, волластонит и др.).

На основе детальных исследований минералов намечены пути направленного

изменения их свойств и обогащения, разработана технология их синтеза. Фактически создана новая индустрия — получение синтетических минералов: алмазов, ювелирных камней, слюды и других видов сырья.

На стыке минералогии и технологии переработки минерального сырья развивается новое прогрессивное направление — технологическая минералогия, разрабатывающая способы интенсификации освоения богатств недр (их комплексного использования, более полного извлечения всех полезных компонентов, создания безотходной технологии, геотехнологических способов отработки месторождений). Роль этого научного направления все более возрастает в связи с вовлечением в освоение месторождений бедных или труднообогатимых руд, а также применением новых технологических процессов.

Петрография и литология. Для развития петрографии большое значение имело применение геофизических и геохимических методов исследования, включая изотопные, экспериментальное изучение термодинамики минералообразующих процессов при возрастающей роли математического анализа геологических данных. Современное состояние петрографии можно оценить как начало перехода на уровень точной науки, мерой и числом характеризующей процессы петрогенеза.

Установление работами советских и зарубежных петрографов корового (в основном палингенного) происхождения гранитов подтвердило предположение о том, что главная масса магматических горных пород сформировалась за счет двух магм — гранитной, образующейся в земной коре, и основной (базальтовой), зарождающейся в верхней мантии. Это положило конец длительной дискуссии о природе магмы и показало ошибочность теории происхождения всех магматических пород из единой родоначальной магмы.

Для Советского Союза, на территории которого обширные площади заняты докембрийскими метаморфическими комплексами, большое значение имело дальнейшее развитие учения о метаморфических фациях. Любая метаморфическая порода возникает

только в условиях определенных давлений и температур; установлены пределы устойчивости отдельных минералов и минеральных ассоциаций, метаморфических фаций и субфаций. Изучена и физико-химически обоснована метасоматическая зональность, выявлены и описаны метасоматические породы, образующиеся в условиях высоких температур и давлений на границах химически разнородных пород. Определены парагенетические минеральные ассоциации в метасоматических породах, которые могут возникать в зависимости от числа и состава участвующих в процессе замещения компонентов.

Мировой известностью пользуются работы советских вулканологов, в частности, по изучению действующих вулканов Камчатки и Курильских островов. Принципиальное значение имеют новые материалы о выносе рудных элементов в процессе вулканических извержений.

Важными представляются выводы советских петрографов об эволюции магматизма в истории Земли — от примитивного коматит-базитового в древнейшие эпохи до глубокодифференцированного в фанерозое с увеличением роли известково-щелочных и щелочных магматических серий. Для суждения о ранних этапах развития Земли очень важны достижения современной планетологии, в частности, изучение образцов лунного грунта; предполагается, что на первых этапах становления земная кора была сходна с той, что наблюдается сейчас на лунной поверхности.

Далеко продвинулись вперед за последние 30 лет исследования в области литологии. Разработано учение об осадочных формациях — естественных сообществах пород, возникающих при определенных климатических и тектонических условиях и содержащих специфический комплекс полезных ископаемых. Позднее учение о формациях было распространено на магматические, метаморфические и тесно связанные с ними рудные ассоциации.

Проведены важные исследования по разработке классификации типов современного и древнего осадкообразования в платформенных, геосинклинальных и океанических условиях, вы-

яснению палеогеографических и физико-химических характеристик каждого из этих типов, установлению закономерностей изменения состава и структуры осадочных пород на стадиях диагенеза, эпигенеза и раннего метаморфизма. Детально изучены процессы выветривания различных горных пород в разных климатических условиях и образования связанных с ними месторождений полезных ископаемых, в частности россыпей благородных металлов.

Литологи первыми начали изучение необратимой эволюции геологических процессов, связанной с изменениями газового состава атмосферы и солевого состава гидросферы, а также с развитием органического мира нашей планеты. Работы в этом направлении, проводившиеся в глобальном масштабе, привели к установлению ряда геохронологических закономерностей размещения в земной коре месторождений полезных ископаемых осадочного происхождения. Позднее представления о необратимой эволюции геологических процессов с успехом были перенесены в область изучения магматических и метаморфических формаций, а также рудных месторождений.

Следует особо отметить возрастание роли геофизики и геохимии — этих важнейших отраслей геологических наук XX века.

Геофизика. Геофизические методы стали эффективным средством глубинного изучения земной коры и верхней мантии на континентах, шельфе морей и в Мировом океане, а также поисков и разведки полезных ископаемых, особенно нефти и газа. Современная геофизика широко применяется на всех стадиях геологоразведочного процесса — от региональных исследований до определения вещественного состава полезных ископаемых и подсчета их запасов. Это стало возможным благодаря принципиальному совершенствованию теории, методики, средств наблюдений и систем обработки данных различных геофизических методов.

Важнейшими достижениями геофизики за последние десятилетия являются: создание современного аппаратурно-методического комплекса сейсморазведки — основного метода выяв-

ления и подготовки к бурению перспективных нефтегазоносных структур на суше и в акваториях морей; разработка и внедрение аэрогаммаспектрометрических методов, показавших высокую эффективность при поисках месторождений различных рудных полезных ископаемых; разработка комплекса ядерно-физических методов, находящихся все более широкое применение при поисках и разведке рудных месторождений, а также комплекса методов скважинной геофизики, с помощью которых эффективно изучается межскважинное пространство. Это дает возможность разрезать сеть буровых скважин при разведочных работах, особенно при оконтуривании нефтяных и газовых залежей.

Все большее применение находят новейшие геофизические методы исследования из космоса, аэрогравиметрия, аэроэлектроразведка и др.

Геохимия, биогеохимия и экогеохимия. На основе выполненных за последние годы научных исследований существенно усовершенствованы геохимические методы поисков, разработаны методики поисков и оценки прогнозных ресурсов глубокозалегающего слепого оруденения по первичным и вторичным литохимическим ореолам рассеяния элементов-индикаторов, методики поисков рудных тел, погребенных под мощными толщами рыхлых отложений, по наложенным сорбционно-солевым ореолам рассеяния элементов-индикаторов. Важное значение имеют установление геохимической зональности гидротермального оруденения и разработка на этой основе методики оценки уровня эрозийного среза месторождений, а также отбраковки зон рассеянной (непромышленной) рудной минерализации; создание высокочувствительной атомно-абсорбционной полевой и лабораторной аппаратуры и методики поисков погребенного сульфидного оруденения по газовым ореолам рассеяния ртути; разработка автоматизированных систем и программ обработки геохимической информации с помощью электронно-вычислительных машин. Использование 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.

Большое значение придается развитию биогеохимии, которая рассматривает процессы миграции химических элементов и их изотопов в земной коре под влиянием деятельности живого вещества. В эпоху бурной и нередко расточительной (а то и губительной) для природы деятельности человека методы прикладной геохимии оказались эффективными при решении ряда задач, связанных с охраной окружающей среды. На этой основе в последние годы развивается новая ветвь геохимии — экологическая геохимия, или экогеохимия.

Тектоника. Широко известен синтез огромного фактического материала, положенного в основу составленных тектонических карт страны и ее крупных регионов, а также Евразии в целом.

Существенные результаты получены при изучении древнейших геологических структур. Выработана общая схема закономерностей смены тектонических режимов в развитии Балтийского, Украинского и Алданского щитов. Установлено влияние докембрийского фундамента на развитие фанерозойских подвижных поясов. В эволюции планеты наблюдаются тенденции увеличения гетерогенности литосферы и роли глубинных разломов. Тектоническое и металлогеническое изучение фундамента подвижных древних платформ (Сибирской), срединных и других массивов (Буреинского, Ханкайского, Охотского, Омогонского и др.) позволило акцентировать внимание на процессах тектоно-магматической активизации ранее стабилизированных структур. Результат этих процессов — образование глубинных разломов и трогов, а также формирование вулкано-плутонических зон и поясов. Эпохи тектоно-магматической активизации соответствуют времени крупнейших структурных перестроек земной коры, в частности, на рубежах архея — протерозоя, раннего и позднего протерозоя, позднего палеозоя — раннего мезозоя, позднего мезозоя — кайнозоя.

Тектоника, использующая достижения многих ветвей геологии — стратиграфии, петрографии, петрологии, ли-

тологии, геофизики, геохимии — и тесно соприкасающаяся с физикой и химией, наиболее пригодна для разработки обоснованной глобальной концепции, приближающей нас к созданию подлинной теории строения и развития Земли. Известны достижения концепции динамики литосферных плит, выводы которой связаны с изучением структуры дна океанов при помощи бурения и палеомагнитных построений. Однако она не охватывает тектонические процессы прошлых геологических эпох. Несомненно существование самостоятельных вертикальных движений земной коры, связанных с фазовыми переходами на границах Мохо и Конрада, подъемами к подошве литосферы разогретых и разуплотненных масс мантийного вещества, изостадией и другими причинами. Эти вертикальные движения, приводящие к блоковому строению земной коры материков и океанов, изучаются многими коллективами геологов нашей страны не только на материалах Советского Союза, но и при глобальных исследованиях, а также с учетом данных сравнительной планетологии, которая особенно быстро начала развиваться в последние годы. К изучению современных горизонтальных и вертикальных движений земной коры широко привлекаются данные геодезии, в том числе спутниковой.

С исследованиями в области тектоники тесно связаны успехи в развитии сейсмологии. Обобщен огромный материал по сейсмическим явлениям на территории СССР и зарубежных стран. Достаточно твердо установлена связь очагов землетрясений с зонами активных разломов земной коры. Расширена сеть сейсмических станций и геофизических полигонов в сеймоопасных областях, что позволило довольно успешно разработать методику долгосрочных прогнозов землетрясений, в ряде случаев уже проверенную. Сейчас разрабатывается методика средне- и краткосрочных прогнозов, которая оказывается различной для районов с разным типом движений по разломам земной коры.

К важным достижениям советской геологической науки относится дальнейшая разработка учения о закономерностях образования

и размещения полезных ископаемых. Использование в металлогении формационного анализа — установление металлоносных геологических сообществ (формаций) и определение в них позиции месторождений — представляет качественно новый уровень развития геологической науки и позволяет выделять перспективные площади разного ранга с количественной прогнозной оценкой запасов полезных ископаемых. Такое направление стало ведущим при прогнозе и перспективной оценке крупных регионов, а также локальных площадей и объектов.

В области гидрогеологии выполнены фундаментальные разработки по выявлению закономерностей движения подземных вод зоны свободного водообмена гидросферы, вследствие чего стало возможным более эффективное решение таких задач, как поиски, разведка и оценка эксплуатационных запасов подземных вод, прогнозирование водопритоков в горные выработки при эксплуатации месторождений полезных ископаемых, регулирование водно-солевого режима на мелиорируемых территориях и многих других.

Разработана теория пространственной изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. Это позволило выявить общие региональные особенности инженерно-геологических условий страны, создать теоретические основы прогнозирования развития экзогенных геологических процессов, с учетом которых для ряда регионов составлены прогнозные карты развития геодинамических процессов до 2000 г.

Минерально-сырьевая база. СССР обладает большими разведанными запасами нефти и газа. Важнейшее значение имеет Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция. Геологически она приурочена к одноименной молодой плите с байкальским и частично варисским складчатым фундаментом. Западно-Сибирская провинция осваивается исключительно быстрыми темпами. В пределах Русской платформы наиболее известными нефтегазоносными провинциями являются Волго-Уральская, Тимано-Печорская и Прикаспийская. Значительные месторождения газа разведаны в Амударьин-

ской провинции в Средней Азии. Перспективы нефтегазоносности связываются с провинциями Восточной Сибири — Лено-Тунгусской, Енисей-Лаптевской и Лено-Вилуйской.

Советский Союз богат запасами каменных и бурых углей. Донбасс — главный угольный бассейн страны, обеспечивающий треть общесоюзной добычи, в том числе и коксующихся углей. Крупнейшей базой высококачественных энергетических и коксующихся углей стал Кузнецкий бассейн в Западной Сибири; кузнецкие угли отличаются высоким качеством, разнообразием марочного состава. Канско-Ачинский бассейн уникален как по запасам бурых углей, так и по благоприятным условиям их добычи; освоение его является весьма важным для успешной реализации Энергетической программы страны. Большие запасы углей разведаны в Печорском, Карагандинском, Экибастузском, Южно-Якутском и других угольных бассейнах; огромные ресурсы находятся в слабо изученных Тунгусском и Ленском бассейнах Сибири.

Подготовлена мощная сырьевая база черной металлургии. 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 и Кольском полуострове, в Карелии, Казахстане, Западной и Восточной Сибири. Новые железорудные районы разведываются в Южной Якутии. Советский Союз располагает значительными ресурсами марганцевых руд, сосредоточенных на Украине, в Грузии и Центральном Казахстане, и хромовых руд в Северо-Западном Казахстане.

Созданы крупные сырьевые базы цветной металлургии: медно-никелевых руд — в Норильском районе и на Кольском полуострове; меди — в Казахстане (медистые песчаники, медно-колчеданные и меднопорфировые руды), Узбекистане (меднопорфировые руды), на Урале (медноколчеданные руды) и в зоне БАМа (медистые песчаники); свинца и цинка — на Рудном Алтае, в Центральном Казахстане, Узбекистане и Таджикистане, Красно-

ярском крае, Забайкалье и Азербайджане; алюминиевого сырья — на Урале, Тимане, в районе Курской магнитной аномалии, Архангельской области и Казахстане (бокситы), на Кольском полуострове и в Западной Сибири (нефелиновые руды), в Закавказье (алунитовые руды); 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 всемирно известных месторождений апатитов Хибинской группы на Кольском полуострове, месторождений фосфоритов в Казахстане, центральных районах европейской части СССР и Эстонии, калийных солей — в Пермском Предуралье, Белоруссии, Западной Украине и Туркмении. В последние годы крупный калиеносный бассейн открыт в Восточной Сибири.

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

В последние годы значительно возросли разведанные запасы полезных ископаемых в районах действующих горнодобывающих предприятий, созданы новые сырьевые базы во вновь осваиваемых районах, чем существенно улучшено размещение минерально-сырьевых ресурсов на территории страны. Наличие разведанных запасов полезных ископаемых и концентрация их в основном на крупных и уникальных месторождениях обеспечили высокие темпы развития горнодобывающих отраслей промышленности.

Перспективы. Основными направлениями экономического и социального

развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года, утвержденными 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. Предусмотрено осуществить мероприятия по выявлению новых месторождений нефти и газа на территории Западной и Восточной Сибири, европейской части СССР, в Средней Азии и Казахской ССР, а также на континентальном шельфе. Намечено расширить сырьевые базы действующих горнодобывающих предприятий, особенно в районах формирования территориально-производственных комплексов. Необходимо усилить поиски и разведку месторождений богатых и легкообогащаемых руд черных и цветных металлов, угля, горючих сланцев и сырья для атомной энергетики, для производства строительных материалов и минеральных удобрений, а также поиски и разведку подземных вод. Предстоит выполнить большие работы по выявлению полезных ископаемых на континентальном шельфе и в Мировом океане, освоение минеральных ресурсов которого — дело ближайшего будущего.

Даже по краткому изложению основных направлений развития геологоразведочных работ можно судить об их масштабах и сложности реализации поставленных задач. Успешное их решение зависит от дальнейшего развития ряда важных научных направлений. Все это определяет необходимость резкого повышения эффективности фундаментальных и прикладных геологических исследований, в первую очередь таких, которые коренным образом влияют на совершенствование прогнозов, методики и техники поисков, разведки и экономической оценки месторождений.

Переход к широкому проведению поисков на территориях перспективных для обнаружения месторождений, не выходящих на поверхность, выдвигает в число первоочередных задач дальнейшее совершенствование крупномасштабных геологических карт, которые должны стать надежной основой локального прогнозирования и по-

исков месторождений. Подготовка стратиграфических основ для них становится самостоятельной сложной проблемой. Региональные стратиграфические основы должны быть, с одной стороны, по возможности дробными и отражающими специфику картируемых регионов, а с другой — уверенно коррелироваться со стратиграфическими подразделениями других регионов. Особую актуальность имеет детализация стратиграфии докембрия, с образованиями которого связаны большие перспективы выявления полезных ископаемых.

Для современного этапа развития геологических наук характерен принципиально новый подход к оценке роли глубинных факторов в формировании земной коры. В качестве движущей силы геологических процессов рассматривается эволюция вещества Земли, которая происходит под влиянием комплекса факторов космического и планетарного происхождения. Именно особенностями эволюции вещества Земли обуславливается термодинамический режим осадконакопления, магматизма и метаморфизма, определяющий в конечном итоге вещественный состав геологических тел земной коры, ее тектоническую структуру и условия формирования месторождений полезных ископаемых.

Важным направлением является переход к систематическому изучению глубинного строения территории страны. Принципиальную основу системы глубинного изучения земных недр составляет сеть взаимоувязанных геофизических профилей, опирающихся на сверхглубокие и глубокие скважины. Первая из них, Кольская скважина, 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 каркасная сеть глубинного геолого-геофизического изучения должна служить базисом для привязки более детальных исследований в пределах отдельных регионов. На основе региональных геолого-геофизиче-

ских исследований, данных сверхглубокого и глубокого бурения, использования результатов космогеологических и аэрогеологических съемок необходимо создать типовые модели строения литосферы для областей с различными геодинамическими обстановками, в том числе для главных нефтегазоносных, угленосных и рудных районов.

На новый методический уровень поднимается изучение процессов образования месторождений полезных ископаемых, опирающееся на современные достижения наук о Земле. Будут созданы научно обоснованные модели процессов формирования месторождений руд и углеводородов в различных геолого-структурных обстановках. 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 интеграции данных всех отраслей геологических наук, что должно привести к повышению достоверности прогнозов обнаружения месторождений полезных ископаемых.

Необходимость выявления и комплексного использования всех полезных компонентов, содержащихся в рудах, требует более углубленного изучения их вещественного состава, дальнейшего совершенствования технологических исследований. Сделать технологию переработки всех руд безотходной — такая задача. Намечено более энергичное развитие работ по изучению месторождений, подлежащих освоению с применением методов геотехнологии, а также изучению и использованию гидроминеральных ресурсов.

Первостепенное значение имеют проблемы совершенствования методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Будут продолжены разработки рационального комплекса геологических, геофизических и геохимических методов поисков, а также аппаратуры, обеспечивающей 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. Одно из них — 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, вибраторы, лазерные системы и новые принципы детектирования параметров физических полей. С целью 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, по оптимизации и автоматизации управления технологическими операциями с помощью микропроцессоров, механизации трудоемких процессов, внедрению роботов и манипуляторов, решению проблемы управления буровыми работами на объекте.

Одно из направлений развития научно-исследовательских работ — создание научных основ и методов прогноза изменений геологической среды в результате антропогенного воздействия. Эти работы осуществляются в рамках международного проекта «Охрана литосферы как компонента окружающей среды» (ОЛКОС). Разрабатывается долгосрочная комплексная научно-производственная программа «Научное обоснование, разработка и создание литомониторинга СССР» как единая система контроля, оценки состояния и прогнозов изменений гидрогеологических и инженерно-геологических условий под влиянием хозяйственной деятельности. С проблемой охраны ок-

ружающей среды тесно связана задача охраны земных недр, богатства которых велики, но не беспредельны. Рациональное их использование становится все более актуальной задачей.

Дальнейшее развитие геологических наук требует, во-первых, тщательного наблюдения и изучения природных объектов как поверхностных, так и глубинных, с использованием всего арсенала научных и технических средств; во-вторых, постановки целе-

направленных экспериментальных исследований; в-третьих, крупных обобщений накопленного огромного фактического материала. Современная геология не может ограничиваться лишь качественной характеристикой явлений и процессов, но должна давать их количественную оценку. На основе такого подхода изучение земных недр может быть поднято на новый, более высокий уровень.



РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА

УДК 550.8 : 528(47+57)

Н. В. МЕЖЕЛОВСКИЙ (Мингео СССР), Л. М. НАТАПОВ (ПГО «Аэрогеология»), Д. И. МУСАТОВ (ИМГРЭ), В. К. ЕРЕМИН (ПГО «Аэрогеология»)

Региональное геологическое изучение территории СССР — на современную геотектоническую основу

Восьмидесятые годы ознаменовались завершением планомерных исследований по среднемасштабному геологическому изучению территории СССР с составлением Государственной геологической карты масштаба 1:200 000. Эти работы, начавшиеся в первой половине 50-х годов, явились логическим продолжением мелкомасштабных геологических съемок. Они развивались одновременно с интенсивными исследованиями в области стратиграфии, магматизма и тектоники, с использованием достижений отечественной и мировой геологии. Геологическое картирование в указанном масштабе, дополненное крупномасштабной съемкой ряда горнорудных районов, способствовало созданию надежной минерально-сырьевой базы, обеспечивающей интенсивное развитие промышленности и сельского хозяйства страны.

В прогнозировании и поисках различных полезных ископаемых существенную роль играли тектонические представления геологов-съемщиков, во многом определявшие принципы и методы геологического картирования. Широко используя геологические материалы региональных исследований,

геофизические данные и результаты глубокого бурения, советские геологи первыми стали составлять наряду с геологическими картами, содержащими основные сведения о строении земной коры, также и карты принципиально нового содержания — тектонические. Научной базой для таких карт служили положения разрабатываемых отечественными геологами учений о геосинклиналях, древних и молодых платформ, эпиплатформенном орогенезе (тектоно-магматической активизации), глубинных разломах и др. Особое внимание к тектоническому анализу вызвано интенсивным развитием новых методик геологических исследований, изучением фаций и мощностей, перерывов и несогласий, магматических формаций, новейших движений. В конечном счете все это способствовало совершенствованию представлений о тектонических закономерностях размещения полезных ископаемых.

С начала 50-х до начала 70-х годов достижения теоретической тектоники в целом не выходили за рамки господствовавших в то время тектонических концепций. Они составляли важную часть научно-методической осно-

вы геологосъемочных работ, при которых широко использовались унифицированные схемы корреляции осадочных, магматических и метаморфических пород всех регионов Советского Союза; результаты структурно-тектонического районирования, отражаемые на региональных и обзорных тектонических картах; сведения о палеогеографических обстановках прошлых геологических эпох, содержащиеся в разнообразных атласах; представления о глубинном строении земной коры, базирующиеся на анализе характера физических полей и данных бурения.

Постепенно выработались следующие основные особенности региональных геологических исследований в СССР:

— всестороннее и обязательное использование материалов аэрокосмических, геофизических, геохимических, минералогических методов исследований;

— углубленное изучение стратиграфии, тектонических структур, применения фациального и формационного анализов;

— историко-геологический подход к вопросам становления и формирования земной коры.

Однако главной особенностью геологосъемочных работ является их постоянная поисковая направленность, стремление не только выяснить геологическое строение и историю развития площадей, но и установить закономерности размещения минерального сырья, выявить благоприятные минерагенические факторы и признаки обнаружения полезных ископаемых. Этому способствует широкое использование в практике геологического картирования материалов бурения, дистанционных, геофизических и геологических методов, а также системного анализа разнообразных геолого-геофизических данных с применением электронно-вычислительной техники.

Интенсивное развитие геологосъемочных работ, выполняемых на достаточно совершенной научно-методической базе, позволило достичь высокой степени геологической изученности и опосредованности территории страны: к 1985 г. будет завершена среднемасштабная геологическая съемка и осу-

ществлен переход к планомерному геологическому картированию в крупном масштабе с составлением Государственной геологической карты СССР. Предусматривается усиленное развитие новых видов региональных геологических исследований: космо- и аэрофотогеологического картирования, геологического доизучения ранее заснятых площадей, глубинного и минерагенического картирования и др. Проводимые геологосъемочные работы служат надежной научной основой для прогнозирования и поисков.

Успех прогнозирования всецело определяется качеством и достоверностью геологической карты, а последнее во многом зависит от исходных теоретических позиций исследователей, проводящих геологическое картирование. На современных геологических картах отражаются возраст и вещественный состав, тектоническое (в том числе глубинное) строение изучаемых территорий. При этом возраст и состав пород по геологосъемочным материалам интерпретируются более или менее однозначно и практически не зависят от исходных теоретических представлений об эволюции земной коры. Изображение на картах особенностей тектонических структур и глубинного строения часто трактуется неоднозначно в зависимости от научных концепций.

Переход к новым теоретическим представлениям — закономерный процесс развития науки и практики. В геологии, как и в других естественных науках, установление ранее неизвестных фактов приводит к возникновению новой теории, дающей наиболее удовлетворительное (на сегодняшний день) объяснение этим фактам и всему комплексу явлений, с которыми приходится сталкиваться при изучении земной коры. Переоценка ряда устоявшихся геологических представлений, начавшаяся в 70-х годах, была направлена на более обоснованную и логическую интерпретацию особенностей разрывной тектоники, строения офиолитовых поясов, магматической зональности, крупноамплитудных надвигов и шарьяжей, структуры складчатых сооружений, чем с позиций фиксистских концепций. Кроме того, стремительно развивающиеся исследова-

ния океанического дна и континентальных окраин требовали удовлетворительного объяснения строения континентов и океанов едиными в масштабе планеты глобальными причинами. К этому же обязывали материалы по сравнительной планетологии, развитие которой стимулировалось полетами космических аппаратов к планетам Солнечной системы.

Достижения в изучении дна современных океанов заставили пересмотреть представления о развитии земной коры и характере геодинамических процессов. На основе новейших данных о строении ложа океанов с учетом идеи дрейфа материков, о существовании вдоль границ океанов и континентов наклонных фокальных зон, связанных с вулканическими дугами, о природе полосовых магнитных аномалий в океанах, вызванных разрастанием океанического дна, о крупных скольжениях участков океанического дна вдоль громадных параллельных разломов (трансформных) была сформулирована концепция тектоники литосферных плит. Эта концепция, вобравшая в себя достижения геологии, выработанные на основе учения о геосинклиналях, позволила существенно уточнить и изменить многие его положения.

Учение о геосинклиналях базировалось, в известной мере, на идеализированных представлениях о строго пространственно фиксированной последовательности событий — заложение на месте сводового поднятия геосинклинального прогиба, превращающегося в результате инверсии в горноскладчатое сооружение с последующим преобразованием в платформу. Геосинклинальная теория рассматривала главным образом геологию континентов и не изучала Землю как единый геологический объект. Концепция тектоники плит связывает эволюцию земной коры с перемещениями и взаимодействиями литосферных плит. Она, используя актуалистические аналогии, позволяет объяснять геологическую историю различных регионов в совокупности с развитием как смежных территорий, так и литосферы в целом. Восстановление глобальной картины эволюции литосферы и интерпретация с мобилистских позиций

строения континентов стали возможны благодаря разработанному под руководством акад. А. В. Пейве учению об офиолитовых комплексах складчатых сооружений континентов как о фрагментах океанической коры геологического прошлого, зажатых среди блоков континентальной коры. Большое значение для перехода к расшифровке тектонической истории на основе создания геодинамических моделей и мобилистских палинспастических реконструкций имел палеомагнитный метод.

Концепция тектоники литосферных плит не только объясняет большинство геологических фактов, но и позволяет предсказывать геологические события. Вытекающие из нее научные и практические следствия применяются сейчас почти во всех областях геологии. Мобилистские реконструкции пространственного расположения материков, океанов и границ литосферных плит способствовали становлению новой науки — геодинамики. Общая геодинамика имеет в основном теоретическое значение и рассматривает движение вещества во внутренних частях Земли, выясняя, как оно воздействует на движения в литосфере. Региональная и историческая геодинамика (палеогеодинамика) решают важные практические задачи. При этом первая изучает процессы, происходящие на границах и внутри плит в конкретных регионах, а палеогеодинамика в комплексе с палеогеографией раскрывает особенности формирования земной коры.

Широкое использование геодинамического анализа способствовало тому, что концепция тектоники плит за короткий срок завоевала широкое признание. Теперь невозможно не учитывать такие явления, как спрединг, а также процессы, происходящие на конвергентных и дивергентных границах плит, столкновение континентальных блоков друг с другом и с островными дугами. Перемещение литосферных плит и характер геодинамических обстановок обязательно принимаются во внимание при палеогеографическом и палеотектоническом анализе, стратиграфической корреляции, выяснении причин и особенностей геохимической, магматической и метаморфической зональности и, наконец, при выяснении

закономерностей размещения полезных ископаемых.

Несомненно, тектоника литосферных плит, как и любая новая теория, имеет еще не полностью разработанные положения. Это касается прежде всего неясности геодинамического режима в раннем докембрии. Схематичны палеогеодинамические реконструкции для эпох древнее поздней юры. Дискуссионны, например, проблемы «горячих точек», происхождения глубоко-водных котловин окраинных морей, постулат о «жесткости» литосферных плит и др. Однако эти нерешенные вопросы ни в коей мере не снижают значения теории в целом.

Научными геологическими организациями уже многое сделано для теоретического обоснования тектоники литосферных плит. Так, в Институте океанологии, Геологическом институте и Институте литосферы АН СССР, МГУ, ИМГРЭ, ВСЕГЕИ ведутся разработки по общей геодинамике и геодинамике раннего докембрия, составлению геодинамических моделей образования месторождений полезных ископаемых, изучению офиолитов и др. Начиная развиваться подобные исследования и в производственных геологических подразделениях Министерства геологии СССР. Специализированные подразделения в объединениях «Аэрогеология», «Красноярскгеология», «Центргеофизика» и др. создают региональные геодинамические модели для металлогенического анализа и прогнозирования. Министерством геологии СССР начато составление геодинамической карты страны масштаба 1:2 500 000. Повышению эффективности региональных геологических исследований и поисков полезных ископаемых на основе современных геотектонических концепций была посвящена специальная сессия секции региональной геологии Научно-технического совета Министерства геологии СССР, проведенная в мае 1983 г. в г. Фрунзе.

Сегодня очевидна необходимость всестороннего использования теоретических положений и методических приемов новой мобилистской концепции в практике региональных геологических работ, которые проводятся в двух главных направлениях:

1) переход на качественно новый этап — производство планомерной крупномасштабной геологической съемки с составлением Государственной геологической карты СССР масштаба 1:50 000;

2) составление сводных геологических карт и проведение новых видов преимущественно мелко- и среднемасштабных геологосъемочных работ (космофотогеологическое, аэрофотогеологическое, минералогическое и другие виды картирования).

Представляется, что геодинамический подход может быть реализован в обоих случаях и, прежде всего, в виде реконструкций геодинамических обстановок, определивших основные черты геологического строения и минерализации изучаемых площадей. Поскольку наиболее важные события, связанные с образованием и разрушением земной коры, происходят на границах плит и именно здесь сосредоточивается большая часть полезных ископаемых (особенно в позднем докембрии и фанерозое), главной задачей становится выявление пород-индикаторов и структурных комплексов, указывающих на бывшие границы плит.

Геодинамический подход позволяет углубленно анализировать эволюцию земной коры. Результаты такого анализа могут быть картографически выражены в виде:

— тектонических карт, составленных по времени становления континентальной коры с отражением на них геодинамического характера этого процесса при помощи структурно-вещественных комплексов-индикаторов;

— палинспастических реконструкций литосферных плит, в том числе глобальных и региональных;

— собственно геодинамических карт, на которые наносятся границы литосферных плит (конвергентные, дивергентные и скольжения), магматические и структурные комплексы, характеризующие геодинамические условия на границах и внутри плит.

Пересмотр геологических фактов на мобилистской основе в процессе геологосъемочных работ может находить разное выражение в отчетных матери-

алах по геологическому картированию.

1. При региональных геологических исследованиях мелкого масштаба целесообразно составление геодинамических карт. На них геодинамические обстановки настоящего и прошлого могут быть показаны путем выделения маркирующих их магматических и структурных комплексов, определяющих характер границ плит. Первостепенное значение здесь будет иметь установление магматической зональности, благодаря чему станет возможной реконструкция древних зон субдукции. Сложнее выявление геодинамических обстановок внутри плит. Помимо внутриплитного магматизма (траппы, щелочно-ультраосновные интрузии центрального типа, кимберлиты) и образований, связанных с недоразвившимся рифтогенезом («грабен-рифты», авлакогены), на таких картах необходимо отражать временные интервалы восходящих движений и усиление прогибаний внутриплитных бассейнов седиментации. Последнее особенно важно потому, что корреляция событий внутри плит и на их границах представляется весьма необходимой. Подобные геодинамические карты, как показывает первый опыт, служат принципиально новой основой для выявления металлогенической зональности и могут оказать помощь в установлении дополнительных критериев размещения полезных ископаемых.

2. Повышению качества крупно- и среднемасштабного картирования может способствовать разработка геодинамических моделей и методов актуалистической интерпретации фактического материала. Геологические карты должны нести в данном случае важную дополнительную информацию о детальном строении офиолитовых комплексов, зон меланжа, вулканических дуг и др. Особое значение приобретают отнесение магматических образований к сериям, характерным для определенных геодинамических ситуаций, а также правильное картирование площадей распространения тектонически скупленных геологических комплексов вблизи древних границ плит (вдоль древних зон субдукции и древних коллизионных зон). Достоверный показ на геологических картах тектонических взаимоотношений

таких комплексов позволит во многих случаях избежать произвольного выделения структурно-формационных зон как аналогов индивидуальных геосинклинальных прогибов. На первый план должно выступать выявление геохимической зональности магматизма, металлогенической зональности и специализации.

В связи со сказанным очевидно, что отчетные материалы крупно- и среднемасштабных геологосъемочных работ должны сопровождаться серией специальных картографических приложений. Среди них обязательны мелко-масштабные геодинамические карты, показывающие положение изучаемого района по отношению к древним границам плит; специальные карты, иллюстрирующие латеральную магматическую зональность; карты (или схемы) палинспастических реконструкций для важнейших временных интервалов; структурные карты, отражающие помимо морфологии складок и разрывов динамику движений. Информативность тектонических карт, сопровождающих геологические отчеты, может быть существенно повышена, если в них будет заложен принцип показа времени формирования и деформации континентальной коры.

В практике геологического картирования большое значение могут иметь также специализированные геодинамические исследования, в основе которых лежит реконструкция геодинамических обстановок, обуславливающих основные черты геологического строения и минерализации изучаемых площадей, и их отражение на сериях палеогеодинамических карт. Специализированное геодинамическое картирование представляется как комплекс структурных, петрологических и палеогеографических исследований, выполняемых с целью реконструкции геодинамического режима конкретных отрезков геологического времени. Решение подобной задачи будет особенно актуальным, если временные интервалы, выбранные для анализа, будут отвечать минералогическим эпохам. В этом случае геодинамическое картирование откроет принципиально новый подход к прогнозированию, и его постановка станет особенно целесообразной в освоенных горнорудных рай-

онах, где уже известны месторождения, но поиски их аналогов в течение длительного времени оказались безрезультатными. Проведение специализированного геодинамического картирования желательнее также, когда палеогеодинамические обстановки по аналогии с хорошо изученными регионами позволяют рассчитывать на открытие крупных месторождений в новых районах.

Таковы, вероятно, главные направления, по которым должно происходить внедрение новейших достижений геотектоники в практику геологических работ. Причем это внедрение необходимо форсировать, поскольку геодинамический анализ позволяет совершенствовать прогнозирование разнообразных видов минерального сырья, учитывая зональность в размещении полезных ископаемых по отношению к границам плит и приуроченность определенных промышленно-генетических типов полезных ископаемых к характерным геодинамическим обстановкам.

Использование в процессе геологических работ новейших научных достижений потребует укрепления и совершенствования методической и аналитической баз. Прежде всего это касается подготовки кадров. В учебных курсах вузов вопросам мобилистских концепций и геодинамики не уделяется должного внимания. Невелико число семинаров, совещаний и конференций, на которых могли бы быть апробированы новые методические приемы геологического анализа; отсутствуют методические разработки, пособия и рекомендации, что также служит причиной слабого использования современных геотектонических концепций в геологоразведочной практике. В этом отношении необходимы существенные сдвиги, причем ведущая роль в разработке методических руководств и инструкций должна принадлежать ВСЕГЕИ и другим отраслевым научно-исследовательским институтам вместе с научными учреждениями АН СССР.

Внедрение геодинамического подхода в повседневную практику геологических работ повысит внимание геологов к анализу тектонических структур и вещественного состава гор-

ных пород. Эффективность изучения тектонических структур может быть повышена за счет использования материалов дистанционных методов, в первую очередь космических. При изучении вещественного состава помимо химических анализов горных пород следует развивать исследования по определению содержания акцессорных элементов (рубиния, стронция, цезия, бария, ванадия, скандия), изотопного состава серы, стронция, свинца, неодама и т. д., отношений редких земель и других геохимических характеристик, которые, как правило, различны для породных ассоциаций, присущих разным геодинамическим обстановкам.

Необходимо перевести на производственную основу палеомагнитный анализ, заменить значительную часть радиологических определений, в частности калий-аргоновый метод, более точными видами анализа. Особое внимание следует уделить достоверности диагностики условий осадконакопления, например, формирования глубоководных отложений. Изучение фаций метаморфизма, столь важное для выявления границ древних плит, требует повышенного внимания к зеленосланцевым и голубосланцевым образованиям.

Наконец, следует подчеркнуть еще одно серьезное обстоятельство: при использовании геодинамических моделей важная роль должна принадлежать повышению глубинности геологического картирования и получению доказательств латеральных перемещений масс горных пород. И то, и другое можно реализовать путем увеличения объемов бурения (с использованием материалов глубоких и сверхглубоких скважин) и глубинных геофизических исследований (ГСЗ, ГМТЗ и др.).

В заключение отметим, что завершение среднемасштабных геологических съемок и переход к составлению Государственной геологической карты СССР масштаба 1:50 000 требует совершенствования научно-методической базы этих работ. Правильное и всестороннее использование теории тектоники литосферных плит, несомненно, повысит качество геологических работ и надежность составляемых карт — научной основы прогноза и по-

исков полезных ископаемых. Следует серьезно отнестись к разрабатываемому в Геологическом институте АН СССР учению о тектонической расчлененности литосферы, а также к фундаментальным научным разработкам других геологических концепций.

В настоящее время, к сожалению, продолжает расти разрыв между развитием теоретической (общей) геодинамики и практическим использованием региональной геодинамики при геологическом картировании. Для скорейшего преодоления этого разрыва необходима реализация рекомендаций упоминавшейся сессии секции региональной геологии Научно-технического совета Министерства геологии СССР. Это касается разработки целевой комплексной программы по повышению эффективности региональных геологических исследований и поисков полезных ископаемых на основе теории тектоники литосферных плит; создания методических руководств по применению геодинамического анализа в практике существующих видов геологических работ (в том числе и по геодинамическим основам поисков полезных ископаемых); организации на двух-трех полигонах экспериментального геодинамического картирования. Необходимо также разработать методики геодинамической интерпретации геофизических полей, геохимических методов палеогеодинамических

реконструкций и др. Следует усилить тематические и опытно-методические работы геодинамического направления, уделив особое внимание анализу геодинамических режимов раннего докембрия.

Наиболее важным представляется создание минерагенических моделей на геодинамической основе, в первую очередь, для регионов, где крайне необходимо открытие новых месторождений. Например, на основе геодинамического подхода возможно прогнозирование нефти и газа в поднадвиговых зонах для относительно слабо изученных бассейнов Восточной Сибири. Положения теории тектоники литосферных плит могут быть использованы в комплексной программе изучения глубинного строения Земли с помощью сверхглубокого бурения и каркасных глубинных геолого-геофизических профилей, особенно при интерпретации получаемой информации.

Применение геодинамического анализа и положений теории тектоники литосферных плит в практике геологических работ, безусловно, повысит их качество, будет способствовать более успешному прогнозированию и поискам полезных ископаемых, стимулировать дальнейшее совершенствование теории формирования земной коры и закономерностей размещения в ней полезных ископаемых.

УДК 551.242.5.056

Л. И. КРАСНЫЙ (ВСЕГЕИ)

Глобальная делимость литосферы в свете геоблоковой концепции

Концепция геоблокового строения литосферы впервые была выдвинута по материалам геологии и тектоники Дальнего Востока и Северо-Востока СССР и значительной части Азии [6]. Геоблоки определены как крупные региональные структуры площадью 1—5 млн. км², обладающие характерными чертами литогенеза, магматизма и метаморфизма, а также определенным набором минерагенических зон. С этих позиций были рассмотрены континентальные геоблоки—

Казахстанский, Колымский, Амурский и Алдано-Становой, геоблоки переходной зоны к Тихому океану — Беринговский, Охотский и Ниппонский. Геоблоки длительного воздымания названы анастабильными (от греч. «ана» — снизу вверх), устойчивого оседания — катастабильными (от греч. «ката» — сверху вниз), сложного строения повышенной мобильности — дифференцированными.

В дальнейшем выяснилось, что закономерности распределения глубин-

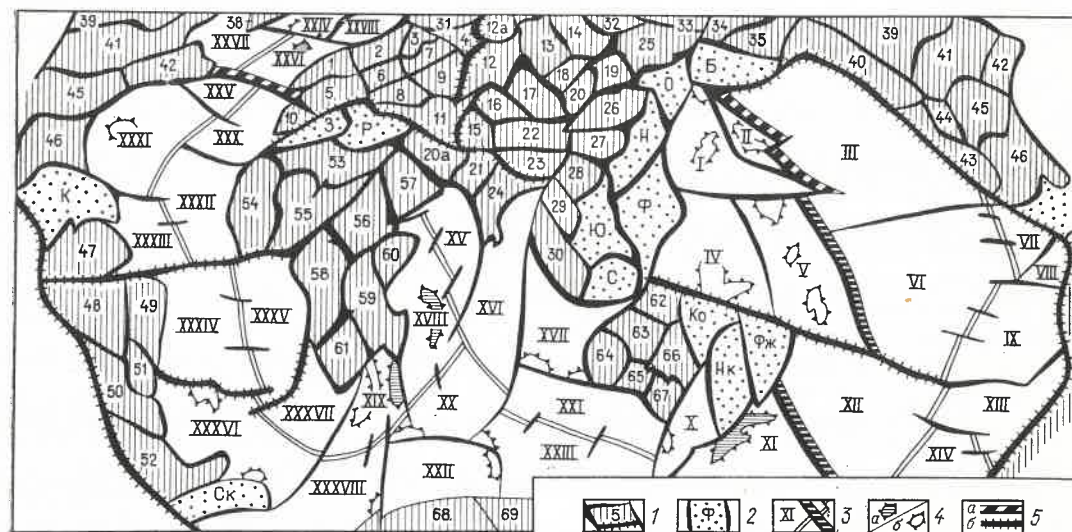


Рис. 1. Схема геоблокового строения Земли

Геоблоки: 1 — континентов (см. табл. 1, 2, 3), 2 — транситалей (см. табл. 4), 3 — океанов (см. табл. 5); 4 — поднятия в океанических геоблоках (а — микроматерии, б — океанские земли, оленды); 5 — океанские георазделы (а) и важнейшие линейные элементы (б)

ных и поверхностных неоднородностей Земли наиболее полно раскрываются при анализе геологического строения всей планеты. Многие исследователи стали выделять микроплиты, дочерние плиты, субплиты. Необходимость обособления крупных блоков привлекает внимание не только геологов, но и специалистов по полезным ископаемым (Т. В. Билибина, М. И. Ициксон, В. И. Казанский, В. Н. Козеренко, Н. П. Лаверов, Н. С. Малич, Е. В. Туганова и др.). Доказано, что формирование и распределение докембрийских рудоносных структур определяются степенью гетерогенности литосферы. Металлогеническое наследование является отражением глубинных неоднородностей литосферных блоков. Были выделены металлогенные блоки на Сибирской платформе и в Африке [5].

Понятиями «коро-мантийные блоки» и «блоки» широко пользуются геофизики, подчеркивая существование неоднородностей в литосфере. Еще в 1976 г. С. И. Субботин признал, что благодаря гетерогенности строения тектоносферы каждый ее блок может рассматриваться как консолидированная неоднородность.

Автор считает адекватными понятия «литосферный блок» и «геоблок», последний несет определенную логи-

ческую нагрузку. «Блоки Земли» отражают особые свойства этих структур, присущие каждому естественному объекту.

Континенты. Глобальные геолого-структурные подразделения Земли — континенты вместе с шельфовыми провинциями ($162 \cdot 10^6$ км²), переходные зоны (транситалы $32 \cdot 10^6$ км²) и океаны ($316 \cdot 10^6$ км² без шельфовых провинций и транситалей) — характеризуются качественной и количественной геоблоковой делимостью (рис. 1; табл. 1, 2, 3).

На Евразийском континенте, непосредственно связанном с величайшей на планете шельфовой провинцией, различаются кратонные геоблоки с разным положением фундамента: а) обнаженным — Кольско-Карельский, Свекофенский и Индостанский; б) частично выходящим на поверхность — Днепровский, Анабарский, Алдано-Становой и Хуанхэ; в) перекрытым чехлом различной мощности — Белорусско-Прибалтийский, Московско-Мезенский, Волго-Камский и Ангарский. Особое положение занимает «трапповый» Тунгусский геоблок, наиболее насыщенный на материке основными вулканитами. В последнем имело место повторение (поздний рифей, кембрий, триас) медьсодержащих рудных формаций как экзогенного,

Таблица 1

Кратонные геоблоки континентов*

Анастабильные (щиты)			Катастабильные (плиты)			Анакатастабильные (повышенной подвижности)			Трапповые		
№	Название	Площадь, 10^6 км ²	№	Название	Площадь, 10^6 км ²	№	Название	Площадь, 10^6 км ²	№	Название	Площадь, 10^6 км ²
2	Свекофенский	0,7	6	Белорусско-Прибалтийский	0,7	27	Хуанхэ	1,5	13	Тунгусский	1,3
3	Кольско-Карельский	0,6	7	Московского-Мезенский	0,8	28	Янцзы	1,4	51	Парана	1,2
8	Днепровский	1,2	9	Волго-Камский	1,2	44	Колорадо	0,9			
14	Анабарский	0,9	18	Ангарский	0,9	49	Восточно-Бразильский	2,4			
19	Алдано-Становой	1,3	37	Виктория	0,7	55	Чад	3,2			
24	Индостанский	2,5	45	Миссисипский	3,2	56	Нильский	2,2			
38	Гренландский	2,2	53	Сахарский	1,9	63	Северо-Австралийский	1,6			
39	Центрально-Канадский	3,0	57	Аравийский	2,5						
41	Сьюпериор	2,5	66	Эроманга	1,1						
42	Гренвилл	1,0	69	Уилкс	4,0						
47	Гвианский	2,2									
48	Центрально-Бразильский	3,1									
54	Западно-Африканский	2,5									
58	Конго	3,0									
59	Мозамбикско-Мадагаскарский	1,4									
61	Южно-Африканский	2,0									
64	Западно-Австралийский	1,1									
65	Южно-Австралийский	0,7									
68	Эндерби	5,2									
70	Баффинов	1,3									

* В табл. 1—6 номера и индексы геоблоков см. на рис. 1 и 2.

Таблица 2

Геоблоки молодых платформ континентов (включая шельфовые провинции)

Собственно платформенные			Платформенно-глыбовые			Шельфовые		
№	Название	Площадь, $л \cdot 10^6 \text{ км}^2$	№	Название	Площадь, $л \cdot 10^6 \text{ км}^2$	№	Название	Площадь, $л \cdot 10^6 \text{ км}^2$
11	Туранский	2,0	4	Тимано-Печорский	0,6	12a	Карский	0,8
12	Западно-Сибирский	2,0	5	Западно-Европейский	2,3	31	Баренцевский	2,1
36	Свердруп	0,8	20a	Ирано-Белуджистанский	1,6	32	Лаптевский	0,8
50	Чако	2,4	30	Центрально-Зондский	1,9	33	Восточно-Флоридский	0,9
			34	Чукотско-Колымский	1,0	46	Мексикано-Флоридский	1,9
			52	Патагонский	2,6	62	Арафурский	1,0
			60	Велико-Шебели	1,0			
			67	Лаклан	1,8			
			—	Уэдделла-Росса	2,8			

так и эндогенного происхождения. Отметим уникальность Анабарского геоблока, в котором длительно (с перерывами) развивался существенно щелочной и щелочно-ультраосновной магматизм (1000, 365—345, 248—246, 160—110 млн. лет). Как и другие кратонные геоблоки Земли, Евразийские отличаются уникальными месторождениями железа (Днепровский и др.), медно-никелевых руд (Свекофенский, Кольско-Карельский, Тунгусский) и золота (Индостанский).

Высокая степень мезозойского омоложения присуща геоблокам Восточной Азии — Алдано-Становому, Хуанхэ и Янцзы. Несмотря на заметный домезозойский минерально-сырьевой потенциал (железо, фосфориты, каменный уголь), основные рудные богатства приурочены к мезозойской металлогенической эпохе. Примером литофильного геоблока активизированной платформы служит Янцзы (параплатформы Янцзы, по номенклатуре китайских геологов), где в известном вольфраморудном районе Южного Цзянси сосредоточено большое количество месторождений вольфрама, имеющих мировое значение.

Отличительная черта многих геоблоков Евразии — их мозаичный складчато-глыбовый характер. Это относится как к палеозойским геоблокам запада континента (Иберийский, Западно-Европейский) и Центральной Азии (Казахстанский, Алтае-Саянский, Байкальский и др.), так и к палеозой-мезозойским Восточной Азии (Колымский, Амурский, Меконг). В них сочетаются крупные массивы, обычно с докембрийским кристаллическим ядром, и различные геосинклинальные складчатые и орогенные структуры. Массивы являются важным составным элементом Ирано-Белуджистанского геоблока, в котором значительная площадь покрыта чехлом длительного формирования (от венда до позднего мела). И только немногие геоблоки (Великобританский, Западно-Китайский) существенно сложены геосинклинальными образованиями.

К востоку и югу от Урала большие пространства заняты структурами мезозой-кайнозойского оседания — Западно-Сибирским и Туранским геобло-

Геосинклинально-складчатые геоблоки континентов

Мозаичные			Линейные		
№	Название	Площадь, $л \cdot 10^6 \text{ км}^2$	№	Название	Площадь, $л \cdot 10^6 \text{ км}^2$
10	Иберийский	0,6	1	Великобританский	0,8
15	Кызылкумско-Гиндукушский	0,8	23	Западно-Китайский	1,2
16	Казахстанский	1,9	40	Западно-Канадский	1,1
17	Алтае-Саянский	2,1	43	Западно-Американский	2,3
20	Байкальский	1,4			
21	Тар	0,7			
22	Центрально-Азиатский	1,3			
25	Колымский	1,7			
26	Амурский	2,8			
29	Меконг	1,2			
35	Аляскинский	0,8			

ками, это известные нефтегазоносные провинции.

Обладающая чертами симметрии Северная Америка хорошо изучена в геологическом и геофизическом отношении. На западе континента нет столь четкого деления на геоблоки, как в Евразии. Однако несомненна самостоятельность анастабильных геоблоков Центрально-Канадского и Сьюпериор и катастабильного — Миссисипского, покрытого мощным осадочным чехлом. Кроме того, на крайнем севере выделяются докембрийские геоблоки Баффинов и Гренландский и плита геоблока Виктория. Свообразны геоблоки Свердруп и Мексикано-Флоридский, расположенные соответственно на крайнем севере и юге континента. В первом из них известен позднепалеозойский — мезозойский осадочный бассейн, во втором — существенное погружение происходило в мезозое и кайнозое. На западе материка различаются геоблоки Аляскинский, Западно-Канадский и Западно-Американский с преобладанием мезозойских линейных геосинклинальных систем, нередко существенно гранитизированных. Геоблоки Северной Америки имеют тенденцию к самостоятельному развитию с раннего докембрия. Так, в Гренландском геоблоке обнаружены древнейшие (3,8 млрд. лет) железистые кварциты в гнейсах Амисток, а также стратиформная сульфидная минерализация и магматогенные хромитовые руды в анортозитах (древнее

3 млрд. лет). Следует подчеркнуть общую высокую халькофильность западных геоблоков континента, который является ведущим по молибдену, свинцу, цинку и меди.

Южно-Американский континент от соседних материков отделен транзиталиями, составляющими на севере Карибский геоблок, а на юге — геоблок Скотия (Скоша). Здесь различаются высоко поднятые кратонные геоблоки Гвианский и Центрально-Бразильский, сильно раздробленный, дифференцированный и неоднократно омоложенный Восточно-Бразильский и геоблок Парана с раннемеловым трапповым магматизмом. На юге крупные геоблоки Чако и Патагонский принадлежат к молодым платформам. В последнем наблюдается перемежаемость массивов и значительных по размерам бассейнов.

Своим минерально-сырьевым потенциалом выделяется Восточно-Бразильский геоблок. В нем вслед за докембрийским развитием с многократным повторением железорудных толщ происходило медное, а затем золотое и урановое оруденение. Существенное значение имеет мезозойский магматизм, к которому принадлежат щелочные породы (150—130, 110—100, 65—40 млн. лет). С нефелиновыми сиенитами здесь связаны крупные месторождения ниобия и редких элементов, а также апатитов.

На Африканском континенте преобладают геоблоки высокого стояния —

Таблица 3

Таблица 4

Геоблоки транзиталей

Индекс	Название	Площадь, п. 10 ⁶ км ²
Б	Беринговский	2,6
О	Охотский	1,7
Н	Ниппонский	1,1
Ф	Филиппинский	4,8
С	Сулавеси	1,3
Ю	Южнокитаеморский	1,6
Ко	Коралловый	1,8
Нк	Ново-Каледонский	3,5
Фж	Фиджийский	3,8
З	Западно-Средиземно-морский	1,0
Р	Родопско-Малоазиатский	2,7
К	Карибский	3,6
Ск	Скотия (Скоша)	1,7

анастабильные [14]. Депрессионные (катастабильные) структуры занимают относительно небольшие площади. Разделение Африки на крупные блоки отмечали многие авторы (фельдеры, по Г. Клоосу; скутумы, по Э. Краусу). При рассмотрении соотношений докембрийских глыб (кратонов) и разграничивающих их подвижных поясов обособляются девять геоблоков. Из них к анастабильным относятся Западно-Африканский и Южно-Африканский, а также, возможно, плохо обнаженный Нильский.

Наибольшей неоднократно проявленной гранитизацией выделяются геоблоки Конго и в особенности Мозамбикско-Мадагаскарский. Геоблок Чад с древними выступами, омоложенными в позднем протерозое, частично перекрыт мощным осадочным чехлом (впадина озера Чад). К катастабильным геоблокам относится Сахарский на севере материка.

Примером сидерофильного геоблока с последующим наложением литофильной и халькофильной металлогении служит Южно-Африканский. Хром и платина в ранний этап его развития, литий, цезий, бериллий, олово, вольфрам, молибден и медь — в более поздний, а также алмазы придают этому геоблоку черты «мультигеоблоковой» структуры. Из докембрийских геоблоков с четко выраженной минерацией литофильного профиля упомянем Мозамбикско-Мадагаскарский,

где бериллий, литий, ниобий, тантал — наиболее характерные элементы редкоземельных пегматитов.

Сахарский седиментогенный геоблок отличается широкой нефтегазоносностью палеозойского разреза в Алжирско-Ливийской синеклизе и более молодой мезозойской на востоке (синеклиза Сирт).

Островная материковая глыба Австралии делится К. Пламбом [15] на несколько главных коровых блоков, каждый из которых имел собственную историю и тектонические особенности. Несколько изменяя и дополняя данные автора, можно различать геоблоки: Западно-Австралийский, Южно-Австралийский, Северо-Австралийский, Эроманга и Лаклан. Первые два докембрийские; третий сложно построенный своеобразный мозаичный геоблок, сочетающий существенно протерозойские поднятия и опускания и геосинклинальные складчатые сооружения. В пределах геоблока Эроманга известен платформенный чехол синклинорного строения. Еще слаб изученный шельфовый геоблок охватывает Арафурское море.

Австралийский континент по запасам полезных ископаемых на единицу площади наиболее богатый. Так, сидерофильный кратонного типа Западно-Австралийский геоблок известен очень крупными месторождениями железа, никеля и золота; Северо-Австралийский — существенно халькофильный; Лаклан и межгеоблоковые системы Маунт-Айза и Новой Англии — хальколитофильные.

Южно-Полярная континентальная ледовая глыба Антарктиды, составляющая, как предполагают, центральную часть Гондваны, включает геоблоки Эндерби и Уилкс кратонного типа и Уэдделла-Росса со сложным, еще недостаточно изученным мозаичным строением. В нем различаются массивы, крупные формирующиеся, возможно, нефтегазоносные осадочные бассейны, а также рифтовые впадины покровы базальтов.

Транзитали. Геоблоки «переходных зон между континентами и океанами» — транзиталей (табл. 4; см. рис. 1) — наиболее широко развиты в тихоокеанской окраине Восточной Азии (шесть геоблоков), к востоку о

Австралии (четыре блока), а также между Европой и Африкой (Средиземноморская транзиталь), Северной и Южной Америкой (Карибская), между последней и Антарктидой (Скотия).

Эти геоблоки, относящиеся к дифференцированным высокоподвижным активным континентальным окраинам, обладают индивидуальными чертами. К океанским структурам ближе всего Филиппинский геоблок, к континентальным — Охотский, Южнокитаеморский и Коралловый. Наиболее тонкой и прогретой литосферой отличается Фиджийский геоблок. В одних геоблоках преобладают короразрушающие процессы (Новокаледонский); для других главенствующую роль играли процессы, создающие субплатформенный чехол (Охотский); в третьих обнаруживаются явления рифтогенеза (Ниппонский и Сулавеси); в четвертых происходили как процессы пелагической седиментации (Западно-Филиппинский мегаблок), так и ограниченное спрединговое раздвигание (мегаблок Парасе-Вела).

По сложности строения многие из них превосходят Карибский геоблок, обрамленный эпицентрами землетрясений, особенно насыщенными в полосе Гаити—Малые Антилы. В нем различаются три мегаблока: Юкатано-Кайманский, Западно-Карибский и Восточно-Карибский. Ряд исследователей выделяет самостоятельную Карибскую плиту, ограниченную на севере желобом Кайман.

Минерогеническое значение геоблоков транзиталей возрастает в последние десятилетия. На первое место следует поставить нефтегазоносность островных дуг и шельфовых бассейнов (Индонезийские, Новогвинейские и др.) [8]. Существенную роль геоблоки транзиталей и обрамляющие их межгеоблоковые системы играют в мировой минерально-сырьевой базе меди, никеля, хрома, полиметаллических руд, серебра, золота и других металлов [4]. Выявляются две группы месторождений: 1) ассоциированных с гипербазитами (хромиты Филиппин), отчасти с габброидами и продуктами их латеритного выветривания (никель островов Куба и Новая Каледония); 2) ассоциированных с андезитами, от-

части с базальтами и их дифференциатами (колчеданные и медноколчеданные руды Японии). Все большее значение в транзиталах приобретают меднопорфировые месторождения островодужных систем (Филиппины, о. Новая Гвинея, Соломоновы о-ва).

Все вышесказанное показывает, что граничные структуры (островные дуги, глубоководные желоба и особенно сейсмофокальная зона Заварицкого—Беньофа), обрамляющие конкретные геоблоки, связаны не с погружающейся холодной Тихоокеанской плитой, двигающейся от гребня Среднеокеанского поднятия, а со сложными геологическими процессами, происходящими в межгеоблоковых системах длительной и многообразной тектонической активности. Каждая такая граница должна иметь индивидуальные особенности, что хорошо видно на «Карте сейсмичности Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана» (1973 г.). Так, на границах одних геоблоков фокальные зоны узкие и концентрированные (дуга Тонга), на других они образуют широкий клин (Курильская дуга), на третьих сейсмическая зона падает сначала полого, а затем почти вертикально (Марианская дуга). Существенно изменяется глубина их проникновения в верхнюю мантию. Отметим, что вдоль границы транзиталь — океан неравномерно развиты периокеанские валы, а также резко меняется положение поверхности Мохо под осевой частью желобов (от 25—32 до 10—15 км).

Специальные расчеты [9] плотностных неоднородностей под системой окраинных морей и островных дуг привели к выводу, что наиболее удовлетворительное объяснение наблюдающихся остаточных гравитационных аномалий можно получить в рамках «моделей локальных неоднородностей». Аномальный тепловой поток и разуплотнение мантии под окраинными морями связаны с поднятием более легкого и горячего материала из глубоких недр Земли, а не являются результатом процесса субдукции.

Океаны. Океанские геоблоки (табл. 5) составляют ряд от структур «гибридных», содержащих фрагменты континентальной коры (микроматерики), через промежуточные с региональными

С фрагментами континентальной коры			С олендами		Океанские существенно базальтоидные		Срединговые	
№	Название	Площадь, $\cdot 10^6$ км ²	№	Название	№	Название	№	Название
Тихий океан								
XI	Юго-Западный	8,0	Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Индийский океан			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
XVIII	Западно-Индийский	10,0	Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
XIX	Агульяс	5,4	Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Атлантический океан			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
XXVI	Роккол	2,5	Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
XXVIII	Норвежско-Лафотенский	2,8	Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Сев. Ледовитый океан			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
XXIX'	Амеразийский	3,0	Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Атлантический океан			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Индийский океан			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Северо-Западный			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Хесса			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Каролинский			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Центральный			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Исландско-Фарерский			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Саргассов			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Зеленого Мыса			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Северо-Восточный			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Юго-Восточный			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Индийский			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Гуннерус			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Австрало-Антарктический			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Тринидадский			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Бразильский			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Аргентинский			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Капский			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	
Мод			Тихий океан		Тихий океан		Тихий океан	

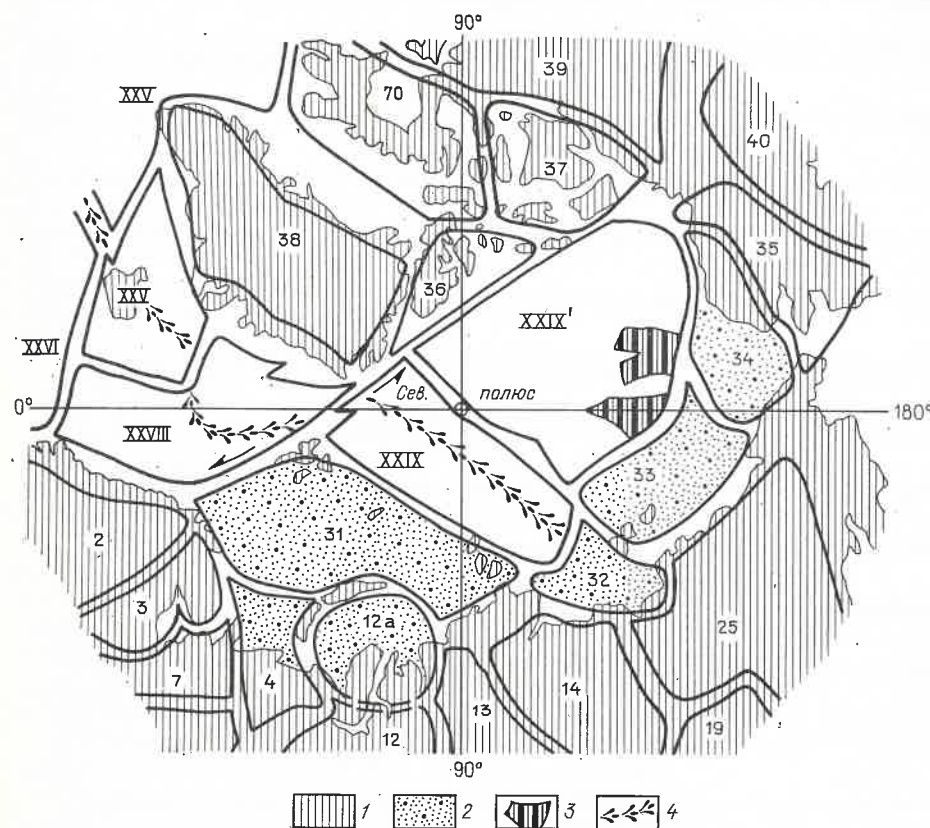


Рис. 2. Геоблоки Северной полярной области

Геоблоки: 1 — континентов (см. табл. 1, 2, 3), 2 — шельфов (см. табл. 2), 3—4 — океанов (см. табл. 5); 3 — с микроконтинентами, 4 — спрединговые

ми коровыми утолщениями (олендами) до образований «чистой линии» со стандартной тонкой океанской корой и абиссальными холмами, занимающими обширные площади. Среди океанских геоблоков выделяются спрединговые с четко выраженной центральной осью симметрии.

К «гибридной» группе принадлежат геоблоки Роккол, Агульяс, Западно-Индийский и Юго-Западный Тихоокеанский. Они как бы намечают границы бывших континентов: Африкано-Сейшельского, Австрало-Кэмпбеллского (Меланезия) и Европейско-Рокколского. То же относится и к Амеразийскому геоблоку, связывающему Азиатский и Канадский проконтиненты (рис. 2). Вторая группа геоблоков, как правило, находится на большом удалении от континентов, тяготея к трансформалам. К ним относятся тихоокеанские геоблоки: Северо-Западный, Каролинский и Центральный с олендами Шатского, Онтонг-Джава и

Манихики [7]. В третьей группе выделяется Экваториальный геоблок, где намечается очень крупная своеобразная талассосинеклиза. Многие геоблоки Атлантики к югу от Северо-Атлантического геораздела (линия разлома Гиббса) характеризуются наличием вулканических нагорий, увенчанных островами (Азорско-Иберийский и Зеленого Мыса). Судя по глубинным ксенолитам, эти островные сооружения покоятся на «вторичной мантии» («плутоническом фундаменте»), сложенной различными габбро и черными пироксенитами (с керсутитом). Ниже находятся гарцбургиты и лерцолиты «первичной мантии».

Обширные геоблоки «чистой линии» (Центрально-Индийский, Южный Тихоокеанский и др.) с массовым распространением абиссальных холмов сложены однообразными силлами и покровами железистых базальтов и долеритов.

В геоблоках Тасманов, Евразийский, Галапагосский, Северо-Восточный (Тихий океан) выявлены оси спрединга; следует признать их общепланетарное и региональное значение. В последнем выделяется блок «Большой магнитный изгиб» ($2,5 \cdot 10^6$ км²). Если интерпретировать номера магнитных аномалий как соответствующие возрасту геологических (магматических) тел, то «Большой магнитный изгиб», не обнаруженный в других геоблоках, явится крупной талассоантеклизой.

В табл. 6 на ряде примеров показаны историко-геологические тенденции в формировании типовых геоблоков Земли. Как видно из таблицы, а также исходя из синтеза эволюции нашей планеты переломными эпохами, сыгравшими определенную роль в формировании геоблоков, были послепалеозойская, существенно раннепротерозойская, позднепротерозойская—раннепалеозойская и мезозойская; в транзитных и большей части океанов позднепалеозойская—кайнозойская.

Межгеоблоковые системы. Описание геоблоков подчеркивает ячеистое строение литосферы. Их естественные латеральные границы обычно доступны для непосредственного наблюдения. Роль граничных межгеоблоковых систем для обоснования концепции геоблокового строения Земли трудно переоценить. Ими могут быть линейно вытянутые перикратонные прогибы или авлакогены, превращенные впоследствии в складчатые или складчато-надвиговые системы. Иногда в тех же зонах развиваются краевые прогибы. К другому классу граничных зон принадлежат геосинклинальные системы, интеркратонные геосинклинальные и другие подвижные тектонические швы, часто насыщенные магматическими телами. К ним относятся различные вулканогены (внутри- и окраинноконтинентальные, внутриокеанские), а также системы островных дуг с глубоководными желобами.

Не менее четкие граничные поверхности могут быть выражены рифтовыми системами (континентальными и океанскими), зонами глубинных разломов, часто сопровождающимися линейными магматическими телами (на

пример, габброидами), метаморфически преобразованными поясами горных пород, линейными поднятиями и пр. Следует подчеркнуть многократность и длительность развития межгеоблоковых систем, смену условий растяжения и сжатия, резкого усиления и ослабления теплового потока. Именно здесь создаются благоприятные условия для формирования многих полезных ископаемых эндогенного и экзогенного происхождения.

В общем виде межгеоблоковые системы можно определить как зоны (пояса) длительного дисбаланса между смежными геоблоками. Взаимодействие их нередко приводит к массовому перемещению осадочного материала и созданию гигантских седиментогенных ловушек, приближению к поверхности перегретого глубинного мантийного материала. Колебания термического и барического режимов, активный перенос интрателлурическими потоками флюидов обусловили особую тектономагматическую обстановку в конкретных межгеоблоковых системах. Изменение объемов и вещественного состава, а следовательно, и плотности геологических тел, заполнявших межгеоблоковые системы, приводило к гравитационной неустойчивости, что заметно влияло на их формирование. При этом длительно развивались сильно деформированные и метаморфизованные линзы, призмы и клинья—зоны складчатые, складчато-надвиговые, смятия и расщепления. Эти структуры составляют наиболее легко диагностируемую часть глубинных разломов.

Многие существенно раздвиговые зоны образовались в результате расхождения геоблоков под некоторым углом (сфенокэзмы, по С. Кэри) или с близпараллельными бортами (ромбокэзмы). При раздвижении геоблоков и последующем их сближении в межгеоблоковых системах имели место этапы утонения и утолщения коры, ее разрушения и созидания, пакирования и разлинзования соответствующих структурно-формационных комплексов. Рассматриваемые системы в подавляющем большинстве линейные или слабоизогнутые структуры длиной от многих сотен до двух-трех тысяч километров.

Таблица 6

Схема этапов эволюции геоблоков

№	Название	Возраст, млрд. лет	Этапы	Ведущая минерализация
Континенты				
38	Гренландский	PR_3-S_2 (0,9—0,8)	Пл	Графит
		AR_2 (3,0—2,8) AR_1 (4,0; 3,8—3,6) >4,0	Н дН	Fe, Cr
3	Кольско-Карельский	PZ_2 (0,5—0,38) PR_{1-2} (2,7—1,6)	ТМА Пр	Fe—Ti, флогопит
		AR_2 (3,5—2,7) AR_1 (>3,5)	Н дН	Cu—Ni, мусковит TR, апатит
19	Алдано-Становой	J—K AR_2-PR_1 AR_1 (3,8—3,5)	ТМА, ТСА Н дН	Au, каменный уголь Fe, апатит, мусковит Fe, флогопит
61	Южно-Африканский	PR_1 (2,7—2,4)	Пр	Au, U, Cr, Pt, Ti, Ni, Sn, алмазы Cr, Pt
		AR (3,5—3,1)	Н	
28	Янцзы	J—K PR_3-P_2 (>0,7)	ТМА, ТСА Пл, А	W, Sn, Be, Bi, Ta—Nb Каменный уголь
		PR_1 (2,1—1,9) AR (>2,4)	Пр Н	
45	Миссисипский	Є—Р	А, Пл	Нефть—газ (O, D, P), He, соли, Pb (Є ₃)
		PR_{2-3} (1,4—1,2)	Пр	
20a	Ирано-Белуджистанский	K_2^2-P $V-K_2^1$ Докембрий	ТМА Пл'М	Cu, Pb—Sn, Ni—Co
			?	
12	Западно-Сибирский	J—Р Р—Т PZ	Пл' дПл' Г, М	Нефть—газ
16	Казахстанский	PZ_3 PR_3-PZ_1, PZ_2-3	О, ТМА Г, М	W, Sn, флогопит Cu, Pb, Zn, Nb, Fe, Ti, Mn
		$AR-PR_1$ (3,6; 1,9—1,3)	Н	

Продолжение табл.

№	Название	Возраст, млрд. лет	Этапы	Ведущая минерализация
26	Амурский	K_2 $PZ, T-K_1$ PR_3-C_1 PR_{1-2}	O, TMA G, M $\varepsilon G, mG$ Пр	Au, Sn, W, каменный уголь Fe, Mn, магнетит
35	Аляскинский	K_1^2-P, N $P-T, J-K_1^1$ PZ_1-C	O, TMA εG εG	Sn, W, Be Cu, Au, Pt, Hg, Sb
Транзитали				
H	Ниппонский	$N-Q$ $J-P$ $S-P_2$	OD, KM $лOD$ G, M	Au, Ag, Hg, Ba, Pb—Zn—Cu Pb—Zn
Океаны				
IV	Каролинский	$K-Q$ Древнее мезозоя	Ol MB	Нефть—газ? ?
XXIX	Евразийский	KZ	Sp MB	
XXIX'	Амеразийский	$MZ-Q$ Докембрий? (блоки)	MK	Нефть — газ?

Континенты: дН — донуклеарный (сиалической и симатической протокры); Н — нуклеарный (гранито-гнейсовый куполов и зеленокаменных поясов); Пр — протогеосинклинальный, протоплатформенный (включая протоактивизацию); Пл — формирования плит древних платформ и авлакогенов (А); ТМА, ТМС — тектоно-магматической и тектоно-седиментогенной активизации, становления молодых платформ, включая шельфовые области (дПл) — предплитный с рифтами, тафогенный; Пл' — плитный, Пл'М — плитный с массивами; εG — преимущественно эвгеосинклинальный; mG — преимущественно миеосинклинальный; G, M — геосинклинальный в сочетании с массивами, срединными и краевыми; О, ТМА — орогенный и тектоно-магматической активизации (неразделенный).

Транзитали: дОД — преддугового растяжения; ОД, КМ — формирования островных дуг и краевых морей.

Океаны: МБ — существенно базальтоидный на меланократовом основании; Ол — то же, с олендами; МК — базальтоидно-останцовый с микрократиками; Сп — срединные.

В рамке — доминирующий этап формирования геоблока; * различающийся в современной геологической обстановке.

Обобщая данные о межгеоблоковых системах, можно разделить их на внутриконтинентальные, внутриокеанские и граничные, формирующиеся на сочленении континентов и транзиталей, континентов и океанов, транзиталей и океанов.

В первой группе выделяются метаморфогенные, протогеосинклинальные и разделяющие кратоны. К ним относится система Альбани—Фрезер на границе Западно-Австралийского и Южно-Австралийского геоблоков с характерным зональным строением, глубокой переработкой ранее образованных толщ, основным вулканизмом и

неоднократным внедрением щелочных гранитов. Другой полигенетическо-межкратонной системой (между геоблоками Конго и Южно-Африканским) является Дамара-Катангская разбивавшаяся в течение среднего позднего протерозоя. В ней различаются в разных звеньях эвгеосинклинальные и терригенно-карбонатные прогибы. В венде образовались межгорные и предгорные прогибы с молассоидами и красноцветами. Эта система — яркий представитель протяженной халькофильной зоны. На юго-западе ее среди архейских образований известно медное оруденение, свя-

занное с кибаридами (1 млрд. лет). В горах Отави находится уникальное свинцово-цинковое месторождение и на северо-востоке поперек генеральной структуры расположен «Медный пояс» (640—500 млн. лет). Полигенетическая межкратонная система располагается между геоблоками Западно-Африканским на западе, Чад и Сахарским на востоке — это Дагомийско-Фарузианская, эвгеосинклинального на раннем этапе и перикратонного (или авлакогенного) типа — на позднем.

Значительная часть фанерозойских межгеоблоковых структур принадлежит к эвгеосинклинальному типу: Уральская, Монголо-Охотская, Цилианьшанская, Загрос, Гималайская и ряд других. Это зонально построенные швы регионального ранга, глубоко рассекающие литосферу. Хорошо изученная Уральская система, разделяющая геоблоки Тимано-Печорский на западе и Западно-Сибирский на востоке, как геосинклинальная и металлогеническая развивалась длительно ($AR-PR_1, PR_3-O_1, O_2-P$). Здесь господствует раннегеосинклинальная металлогения сидерофильного профиля (железо, асбест, колчеданы), приуроченная к мощным вытянутым призмам базальтового слоя коры.

На примере Уральской и других межгеоблоковых геосинклинальных систем (Аппалачи, Норвежские Каледониды и пр.), а также Загроса и особенно Гималаев [13] видно, что в них длительное время (в двух последних с кембрия до кайнозоя) формировались сложные по геологическому строению зоны, в которых сочетаются краевые (передовые) и перикратонные прогибы, происходит значительный раздвиг крупных геоблоков с обнажением «симатического дна», образованием геосинклинальных формаций с офиолитами и тектоническим меланжем, а в некоторых зонах с последующим внедрением гранитоидов. Здесь имеет место более позднее сближение сиалических глыб, даже раздавливание «межгеоблоковой начинки» между неравномерно и в целом полого перемещающимися пластинами и клиньями.

Другим типом граничных континентальных систем являются перикратон-

ные и краевые прогибы и авлакогены, а также клиновидные раздвиговые зоны. Перикратонные прогибы нередко составляют раннюю стадию развития пограничных структур, краевые — вторую, а предгорные — завершающую (Приверхоянский прогиб). Перикратонные прогибы и многие авлакогены претерпевают складчатость, связанную с образованием надвигов. Примером граничных структур с мощным (10—15 км) осадочным, частично осадочно-вулканогенным выполнением служат межгеоблоковые системы: Аделаида, разделяющая геоблоки Южно-Австралийский и Лаклан; Сетте-Дабанская — Юдомо-Майская, разделяющая Алдано-Становой и Колымский; Маккензи — Скалистых гор, разделяющая Западно-Канадский, Центрально-Канадский и Сьюпериор. Эти системы нередко вмещают стратиформную, иногда очень богатую полиметаллическую минерализацию, а также месторождения энергетического и химического сырья — угля и углеводородов. Так, в Канадских Скалистых горах к перикратонному прогибу, преобразованному в ходе геологической истории в краевую складчато-надвиговую зону, относится месторождение пластообразных массивных полиметаллических руд Сулливан.

Составной частью длительно эволюционировавших межгеоблоковых систем или самостоятельными подразделениями являются вулканогенные пояса или отдельные вулканогены, как внутриконтинентальные, так и окраинно-континентальные. К первым принадлежит среднепротерозойский Аkitканский вулканоген (граница Ангарского и Байкальского геоблоков), в котором различаются две терригенно-вулканогенные толщи с кислыми лавами между ними. С вулканитами тесно связаны интрузии гранитов и граносиенитов. Широко известны граничные мезозойские и кайнозойские вулканические пояса на окраинах континентов. Это межгеоблоковые системы на границе континент — транзиталь (Восточно-Азиатский пояс) и континент — океан (Андинский пояс). К ним тяготеет обширная группа золото-серебряных, оловянных, медных и других месторождений.

В последние годы исследованы периферийные прогибы [11], развитые на сочленении континентов и океанов, главным образом в пределах их пассивных окраин. На так называемых «пассивных» атлантических окраинах Северной и Южной Америки, Европы и Африки, на западе и востоке Индийского океана в этих прогибах описаны мощные терригенно-карбонатные и эвапоритовые толщи. В ряде межгеоблоковых периферийных структур создается мозаично-блоковая структура, сопровождающаяся образованием краевых плато (Блейк на побережье Северной Америки, Воринг — Европы и др.).

Ряд исследователей справедливо отмечает, что пассивность подобных окраин весьма условна. Это длительно и унаследованно развивающиеся зоны разломных ограничений со своеобразными, согласно Е. А. Долгинову [2], докембрийскими гранулитобазитовыми поясами, а также блоковыми поднятиями и опусканиями. К последним принадлежат краевые плато (аваншельфы), такие как Воринг, Блейк и др.

Особый тип межгеоблоковых структур представляют клино-раздвиговые зоны (сфенокзмы), к которым относятся Бискайский залив и его продолжение на континенте (Аквитанский бассейн) на границе Иберийского и Западно-Европейского геоблоков; возможно, Персидский залив (между Аравийским и Ирано-Белуджистанским) и некоторые другие. В них образуются осадочные призмы (свыше 4—5 км) и создаются весьма благоприятные условия для нефтегазонакопления.

При растяжении и разрыве континентальной коры возникла межгеоблоковая система Красного моря (граница Нильского, Мозамбикско-Мадагаскарского и Аравийского геоблоков), в которой отмечаются мантийные выплавки с повышенной щелочностью. В этой рифтогенной впадине наблюдается несколько фаций металлоносных илов с сульфидами меди и цинка.

Известно, что на границе транзиталь — океан в межгеоблоковых системах длительной активности происходят сложные геологические процессы. Каждая такая система имеет ин-

дивидуальные особенности. Это относится к глубоководным желобам, локальным зонам Заварицкого — Бенюфа и периферийным валам. Существуют и петрологические отличия разных систем островных дуг.

К регматическому типу межгеоблоковых океанских систем принадлежат внутриокеанские вулканогенные пояса [7] — Императорский, Гавайский, Лайн, Туамоту и «Линия острова Пасхи». Это протяженные цепи подводных гор, к которым приурочены положительные гравитационные (св. в. +100÷200 мгал) и резко выраженные магнитные аномалии. Граничные элементы обладают утолщенной (до 20 км) корой. Возраст вулканических поясов по простиранию меняется, что связано с последовательным развитием разломного шва. В некоторых случаях пограничными структурами между геоблоками океанов служат вулканогорья (Маркус-Неккер, Риу-Гранде), некоторые оленды (Кергулен, Крозе) и сложные сооружения, состоящие из линейного глыбового и вулканогенного поднятий (Китовый хребет).

Итак, межгеоблоковые системы — обычно долговременно существующие зоны, в пределах которых отмечаются как переход по простиранию от одного структурного подразделения к другому, так и изменение во времени тектонических режимов. Они, как правило, полигенетические и многостадийные. Это эволюционировавшие в течение длительного времени активные геодинамические системы, имеющие важное значение как вмещающие полезные ископаемые.

В заключение остановимся на гипотетических данных о возможных причинах возникновения геоблоковой делимости, которые, как и общая дисимметрия Земли, таятся, вероятно, в древнейшей ее истории. Интересна гипотеза гетерогенной аккреции, разработанная недавно А. Е. Рингвудом [10] и придерживающимся гипотезы гомогенной аккреции. В свете первой из них особенно важны его данные о происхождении слоя D' с низкими градиентами скоростей распространения сейсмических волн и неоднородной структурой. Преобразования этого слоя, химически и динамически неустойчивого

породили неоднородности меньшего масштаба, что создало, вероятно, глубинную основу геоблоковой делимости Земли. Начальный ее этап относится к 4,6—3,9 млрд. лет назад, когда, как обоснованно предполагают, происходила сильная бомбардировка Земли космическими телами. Следствием таких внеземных ударов могли быть крупноблоковая дезинтеграция еще не окрепшей протокры и создание сети разломов, контролировавших распределение магматических тел ультрабазитового и базитового состава. Эта возможная модель помогает решить задачу установления происхождения первичной делимости литосферы. Таким образом, предполагается, что гетерогенная аккреция, обусловившая планетарные неоднородности, предопределила глубинную мантийную дискретность, сказавшуюся на дальнейшей истории Земли.

С позиций современного строения Земли можно рассмотреть исследования некоторых геофизиков и геодезистов, использовавших данные спутниковой геодезии для изучения ее фигуры и гравитационного поля [1, 3, 12]. Так, по аномальному геопотенциалу четко различаются по наиболее плотной и мощной коре такие кратонные геоблоки, как Гренландский (+30÷40), Свекофенский (+20÷40) и Днепровский (+20). Наименьшим гравитационным потенциалом характеризуются геоблоки Австралии (от +10 до —30) и Индостанский (—50÷—60).

Известны трудности сопоставления ундуляций геоида с крупными тектоническими подразделениями вследствие статистического осреднения одновременного воздействия на гравитационное поле Земли большого числа плотностных неоднородностей разной глубинности и знака. Используя специальные расчеты (вычитание из ундуляций наблюдаемого геоида ундуляций изостатического геоида), можно вывести остаточный геоид, в котором выявляются: а) преобладающая приуроченность отрицательных ундуляций к континентам, а положительных — к океанам; б) крупноблоковая делимость нашей планеты.

Согласно схемам для истинного геоида, которые составлены А. Т. Зверевым,

проведшим корреляционный анализ по площадям 2200×2200 км² и др., видно, что геоблоки Азиатско-Тихоокеанской транзитали характеризуются значениями r (коэффициент корреляции) —14; —0,37; —0,09 и др. На западе Тихого океана эти величины положительные (0,43; 0,61; 0,51; 0,59), а на востоке к северу от экватора отрицательные (—0,34; —0,35; —0,25), что подтверждает наличие Великого Тихоокеанского геораздела. Достаточно четко видно, что r для каледонско-герцинских Западно-Европейских геоблоков характеризуется значениями +0,12 и +0,15, а для мезозойских геоблоков Восточной Азии —0,39; —0,59; —0,50.

Данные спутниковой геодезии обычно не увязываются с привычными тектоническими картами, где выделяются области складчатости различного возраста. Автор считает, что анализ этих данных с позиций геоблоковой концепции открывает новые пути сопоставления глубинных неоднородностей с общей делимостью Земли.

Исследование геолого-структурных и минерагенических особенностей геоблоков Земли и разделяющих их систем опирается на опыт регионального изучения всей планеты. Попытка дать объемную основу мозаичного строения Земли должна привести к более высокому уровню геолого-геофизических и тектонических исследований. Можно предполагать, что эта концепция приведет к уточнению и расширению представлений о минерагенических закономерностях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович И. И., Клушин И. Г. Петрохимия и глубинное строение Земли. Л., Недра, 1978.
2. Долгинов Е. А. Докембрийская история материков и глобальный тектогенез. М., ВИНТИ. Сер. Общая геология, 1982, т. 15.
3. Зверев А. Т. О проблеме связи ондуляции геоида с тектоническими структурами. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1982, № 4, с. 32—38.
4. Ицксон М. И. Металлогеническая зональность Тихоокеанского сегмента Земли. М., Недра, 1979.
5. Козеренко В. Н. Эндогенная минерагения. М., Недра, 1981.
6. Красный Л. И. Геоблоки. — Геотектоника, 1967, № 5, с. 103—128.



Схема распространения активных тектонических движений в Арктике в неогее

1—4 — области и зоны тектонических дислокаций, генерированных геосинклинальными поясами: 1 — байкальскими, 2 — каледонскими, Грампианским и Иннуитским; 3 — герцинскими, Урало-Монгольским и Аппалачским; 4 — миграционно-полициклическим (бай-

кало-альпийским) Северо-Тихоокеанским; 5 — область пермско-кайнозойского тектогенеза, подчиненного развитию геодинамической системы Северного Ледовитого океана; 6 — абиссальные котловины (светлые линии — срединный рифт, светлый пунктир — трансформные разломы); 7 — внутриокеанские вулканотектонические пороги

Третья группа периодических процессов связана с активностью геодинамической системы Северного Ледовитого океана, морфоструктурным выражением которой является Арктическая геопрегрессия — область стока океана (см. рисунок). Палеотектонические реконструкции свидетельствуют о том, что современное строение геопрегрессии — следствие направленных струк-

турно-вещественных преобразований земной коры, взаимосвязанность которых прослеживается в глубь истории до поздней перми включительно. В данном о истории развития пограничного орогенного пояса, изменении внутреннего структурного плана геопрегрессии и о строении формационных рядов тектоническая эволюция Арктической геопрегрессии на протяжении

260 млн. лет характеризуется наличием шести собственных этапов: поздняя пермь — ранний триас (большая часть индский век); средний — поздний триас; лейас — неокм; апт — маастрихт; даний — палеоген; незавершенный этап, начавшийся в миоцене. Этапы группируются в две стадии: длительную (пермь — мел) доокеаническую, когда на месте современных океанических впадин формировались сводово-купольные вздутия (геотуморы) и синокеаническую (даний — четвертичный период), когда в результате обращения геотуморов сформировались Евразийская и Норвежско-Гренландская котловины океана.

На северных материковых окраинах Евразии и Северной Америки движениями, генерируемыми геодинамической системой Северного Ледовитого океана, затухавшими проявления тектогенеза, связанного с удаленными альпийскими геосинклиналями, гибрированы диастрофические движения тихоокеанских мезозонд и почти полностью поглощены и стали едва уловимыми посткарбонные колебательные движения планетарного порядка.

Анализ распространения признаков трех указанных групп движений и связанных с ними структурно-вещественных преобразований позволяет выделить в истории геологического развития арктических шельфов СССР четыре основных рубежа: рифей — венд, девон — карбон, пермь — триас, мел — палеоген. Вследствие стадийного развития преобразования на рубежах, три которых каждый процесс нарастает, достигает кульминации и затухает, применяемая обычно жесткая привязка к границам подразделения стратиграфической шкалы условна.

Рубеж рифей — венд. Рифейский этап неогее, несмотря на значительную длительность (750—1650 млн. лет), характеризуется слабой дифференцированностью тектонических и палеогеографических обстановок. В общей структуре неогейского цикла это начальный этап развития земной коры, созданной в протогее. Ему свойственно преобладание талассократических тенденций над геократическими. В северном полушарии в это время накладывались Грампианский, Урало-

Монгольский, Иннуитский и Северо-Тихоокеанский подвижные пояса. Однако за собственно рифейский этап ни одна из подвижных областей рассматриваемого региона, исключая некоторые пришовные зоны, не достигла зрелого состояния и стадии превращения в складчатую систему.

В конце рифея в пределах Арктического бассейна и прилежащих материковых окраин существовали платформенные области с карбонатным и терригенным осадконакоплением, а также ортогеосинклинали и специфические прогибы с осадками флишoidного типа, которые относятся либо к структурам платформенного ряда, либо к внешним, миогеосинклинальным зонам ортогеосинклиналей. В предвендское время арктические регионы испытали общее поднятие, которое в венде сменилось наступлением талассократических условий. В палеогеографическом плане самому рубежу рифей — венд соответствует широко проявленная трансгрессия, в структурном плане — возникновение предвендского несогласия. Концу рифея на обширных площадях Арктики свойственно накопление доломитов, скорее всего, хемогенного происхождения. Текстуры волновой ряби, трещины усыхания, массовые скопления строматолитов, образующих рифовые постройки, указывают на мелководность бассейнов.

С начала венда накопление доломитов сменяется осадчением известняков. Чрезвычайно характерны пестроцветные глинистые известняки с текстурными признаками активной гидродинамики среды. Очевидны установление свободного водообмена в бассейнах карбонатного осадконакопления, их углубление и, как следствие, — нормализации солёности. Совместно с фактами трансгрессивного налегания вендских отложений на кристаллический фундамент эти данные свидетельствуют о расширении области осадконакопления и об обширной трансгрессии на пенепленизированные структуры. Однако в условиях трансгрессии на отдельных участках вследствие их изоляции продолжалась хемогенная садка доломитов. Эпейрогенические нисходящие движения существенно не сказались на положении основных ис-

точников сноса терригенного материала. Главнейшими по-прежнему остаются кольская суша и геоантиклинальные области Гиперборейской платформы, и только в районе Чукотки и Аляски появляется новая обширная область размыва.

В подвижных поясах на рубеже рифея и венда на первый план часто выступают явления, отражающие их собственный ритм развития. Так, вендские «тиллиты» Шпицбергена, пришедшие на смену карбонатным рифейским толщам, несомненно свидетельствуют об активизации тектогенеза в этом районе байкальской геосинклинали [10]. Исследованиями Е. А. Корого на Новой Земле, установившем в массиве Митюшева Камня граниты возрастом $680-730 \pm 50$ млн. лет (по циркону), подтверждается представление о существенных тектонических преобразованиях в байкальской подвижной зоне на рубеже рифея — венда, простиравшейся в акватории Баренцева и Карского морей из области Тимано-Уральских байкалитов.

В ортогеосинклинали Таймыра основные события происходили между средним и поздним рифеем: складчатость и формирование поверхности предверхнерифейского структурного несогласия в эвгеосинклинали, внедрение гранитов, резкое сокращение основного вулканизма. Рассматриваемый рубеж слабо проявлен в едином позднерифей-вендском формационном ряду, но и здесь ему отвечают полное прекращение вулканизма и скрытое угловое несогласие [2]. В пределах эвгеосинклинали Северо-Тихоокеанского пояса, если положиться на датировку древних толщ по акритархам, в позднем рифее заканчивается накопление существенно вулканических толщ основного, кислого и среднего состава и в венде преобладает осажение терригенного материала, лишь незначительно дополняемое кислыми вулканиками. На контакте рифейских и вендских толщ возможен размыв, поскольку здесь присутствуют конгломераты [3].

Рубеж девон — ранний карбон. Вендско-девонскому этапу свойственна отчетливая тенденция к талассократическому развитию земной коры в додевонское время и к геократическо-

му в девоне. На фоне этих глобальных эпейрогенических изменений геосинклинали замыкаются и формируются байкальские складчатые системы в периферии Урало-Монгольского пояса, каледонские складчатые системы Грампианском и Иннуитском поясах, а также складки ранних генераций в внутренних полициклических зонах Урало-Монгольского и Северо-Тихоокеанского поясов. Активные тектонические процессы этого времени проявлены также в структуре осадочного чехла платформ в виде многочисленных внутриформационных и межформационных несогласий, особенно ярких в присводовых частях Балтийского, Анабарского и Канадского щитов. Вместе с тем в областях перикратонных опусканий и в других подвижных зонах платформ соответствующие несогласия едва уловимы или вовсе скрыты в непрерывной серии осадков. Несовпадение во времени фаз складчатости в различных геосинклиналиях и несогласий на щитах при отсутствии устойчивых признаков этих движений в подвижных областях платформ не позволяет разделить вендско-девонский этап развития земной коры на определенные стадии, выделить устойчивые рубежи для всего рассматриваемого региона.

Необходимо подчеркнуть, что граница кембрия и докембрия, традиционно считавшаяся рубежом первого ряда, уступает по значимости отношению к ней преобразований предвендскому рубежу. Структурные несогласия в основании кембрия на склонах окружающих Арктический бассейн щитов в направлении к современным континентальным окраинам Евразии, Северной Америки, где располагались бывшие подвижные области платформ исчезают внутри единых формационных комплексов. Здесь развитие земной коры в венде и кембрии было направлено. На рубеже кембрия и докембрия не было существенной перестройки в пределах большей части рассматриваемой территории. Угловое несогласие в основании кембрия в Центральном и Восточном Таймыре следует рассматривать как локальное явление, связанное с некоторой активизацией поднятий в процессе разбуривания прилегающих к прогибу территорий. Предраннекарбонный рубеж в

рий. Практически нет перерывов и в разрезах на севере Гренландии, в о. Элсмир, на севере Канадской платформы, Шпицбергене.

Девонско-раннекаменноугольный рубеж, как и предвендский, в первую очередь отражает пульсацию глобального масштаба. Этот рубеж отвечает кульминации бретонской тектонической эпохи, его предваряют фазы каледонского тектогенеза в подвижных поясах и активные движения на платформах. Материалы по Шпицбергену показывают, что в негативных структурах Атлантического пояса предкаменноугольному рубежу предшествовало накопление девонских пестроцветных моласс мощностью до 6500 м, деформированных в позднедевонское время скорее всего вследствие блоковых движений. Нижнекаменноугольным угленосным отложениям здесь предшествовало формирование пенепплена, а базальные слои карбона представлены в основном кварцевыми песчаниками [10, 17]. На Баренцевском срединном массиве каледонид граница нижнего карбона и верхнего девона проходит внутри угленосной толщи, накоплению которой предшествовал перерыв в течение силура — среднего девона. В верхнедевонской части толщи имеются стратиграфические несогласия [5].

Завершение вендско-девонского этапа в Новоземельском регионе характеризуется развитием регмагического прогиба на байкальском складчатом основании между позитивными платформенными структурами. Фундамент прогиба представлен складчатыми структурами байкалитов; сопряженными позитивными структурами являлись платформенные поднятия в южной части Карского моря и на востоке акватории Баренцева. В осевой зоне прогиба, начиная со среднего девона, непрерывно накапливались карбонатно-кремнисто-терригенные глубоководные осадки с основными вулканиками. Для бортов прогиба характерны мелко- и среднезернистые известняковые, терригенные вулканогенные отложения. В ряде случаев устанавливаются предфранцузский размыв и несогласное налегание раннефранцузских пород на подстилающие. Предраннекарбонный рубеж в

прогибе не отражен ни заметными структурными перестройками, ни существенными изменениями в седиментационном процессе. По периферии прогиба граница девон — карбон находится внутри карбонатных мелко- и лагунных формаций, в осевой зоне без перерыва продолжается некомпенсированное накопление глубоководных глинисто-кремнистых осадков. Вместе с тем на подходе к предкаменноугольному рубежу уже в фамене пропадают признаки вулканической деятельности в регионе. К западу от регмагического прогиба, по-видимому, с началом карбона произошло опускание, и суша, поставлявшая терригенный материал в прогиб в течение силура и девона, превратилась в мелко- и лагунное море с карбонатными осадками.

Таймырский полуостров является примером существенных тектонических и палеогеографических преобразований в предкаменноугольное время. В девоне здесь наследуется структурно-формационная зональность, сложившаяся еще в начале вендско-девонского этапа. На северо-западе продолжает существовать иловая впадина с осадками доманикового типа; юго-восток и восток характеризуются условиями мелкого нормально соленого моря и эвапоритовых лагун, где образовывались известняковые и доломитовые толщи с гипсами. На границе позднего девона — раннего карбона большая часть Таймыра воздымается с образованием предкаменноугольного прогиба и только на западе продолжается накопление известняково-глинистой морской толщи. Реконструкции говорят о субмеридиональной ориентировке по предшествующему тектоническому плану. В раннем карбоне погружается почти вся территория, исключая, возможно, лишь узкую прибрежную полосу на севере полуострова, и в морских условиях накапливаются преимущественно известняковые и глинистые осадки. В базальном горизонте встречаются линзы боксита. Область каменноугольных осадочных накоплений тектонически дифференцирована: выделяются конседиментационные валы и впадины, располагающиеся кулисно. Оси этих структур косо ориентированы относительно гене-

рального простираения предшествующих формационных зон [6].

Далее на восток в пределах Гиперборейской платформы и ее окраины предкаменноугольный рубеж реализуется по-разному в зависимости от конкретных условий той или иной структурной зоны. В районе Новосибирских островов в позднедевонском—раннекаменноугольном Бельковско-Нерпалахском прогибе с началом карбона возникает устойчивая обстановка нормально соленого мелкого моря с известняковыми и глинистыми осадками. В позднем девоне в прогибе преобладали терригенные алевритовые осадки и происходила циклическая смена условий от морских мелководных до прибрежно-континентальных. Нижнекаменноугольные отложения согласно налегают на позднедевонские, скорость нисходящих движений в карбоне снижается [4]. На о. Врангеля турнейские известняки трансгрессивно с конгломератами в основании перекрывают верхнедевонские терригенные гипсоносные лагунные отложения и кембрийские породы [3]. На Омолонском срединном массиве в карбоне вулканиты кедонской серии сменяются органогенно-карбонатными шельфовыми осадками.

Отличные тектонические процессы регистрируются в районе архипелага Северная Земля. В течение ордовика—позднего девона здесь формировался платформенный прогиб с терригенными, карбонатными и хемогенными осадками морского мелководья, лагун и прибрежных аллювиальных равнин. Седиментационный цикл заканчивается в конце девона накоплением континентальных терригенных толщ. В течение всего карбона и части перми регион представлял собой область размыва. Здесь выявлены лишь реликты верхнекаменноугольной—нижнепермской континентальной молассы. Морские условия возобновились значительно позднее: на северо-западе о. Комсомолец присутствует верхнепермская прибрежно-морская песчаниковая толща. Кроме того, гранитный североземельский интрузивный комплекс, локализованный в зоне Главного Североземельского разлома по геологическим и радиоизотопным данным относится к раннему карбону,

поэтому реален вывод о орогенном режиме здесь на рубеже поздний девон—ранний карбон [16].

Рубеж поздняя пермь—триас. С конца перми в геодинамической системе Северного Ледовитого океана развиваются ее основные тектонические элементы: пограничный орогенный пояс, эпиконтинентальные седиментационные бассейны и их орогенное обрамление, а также срединное сводовое поднятие (центральный геотумор). В триасе они приобретают отчетливое морфоструктурное выражение, т. е. этого момента начинается геоморфологическая история Арктической геоперессии. В поздней перми в Арктике карбонатное осадконакопление полностью вытесняется терригенным, резко доминирующим в мезозое и кайнозое. В позднем палеозое также меняется состав терригенного материала, резко повышается роль в разрезах полимиктовых разностей за счет кварцевых [1, 14].

Общим для большинства регионов является поднятие в конце перми и опускание в начале триаса. Эти движения проявляются либо в предтриасовом несогласии, либо в углублении бассейнов там, где перерыв в осадконакоплении отсутствует. Начало триаса знаменуется также мощным основным магматизмом и изменениями плана вертикальных тектонических движений.

В платформенных регионах европейского сектора на удалении от зон активного тектогенеза после предтриасового перерыва осадконакопление возобновляется в индском веке. Промежуток во внутренних районах Арктической геоперессии преобладают мощные глины и алевриты с карбонатной примесью (например, архипелаг Шпицберген), а вблизи пограничного орогенного пояса формируются континентальные грубозернистые терригенные толщ (Мезенская синеклиза, Печорская плита и др.). В обоих случаях по направлению к поднятиям возрастает размерность обломочного материала. Триасовый орогенез на месте Уральской геосинклинали проявился в существовании горных хребтов, окаймленных шлейфом континентальной молассы.

В районе Новой Земли в позднем палеозое существовал прогиб, который в перми прошел стадии некомпенсированного глубоководного осадконакопления, флишевую и формирования угленосной паралической толщ. На рубеже перми и триаса прогиб замыкается, начинается инверсия и вдоль его западного-северо-западного борта образуется краевой прогиб, в системе которого находилась Коротайхинская впадина. Прогиб выполнен терригенными, часто красноцветными осадками древней аллювиальной равнины. В толще присутствуют прослои туффитов. Несогласия и перерыва на контакте пермских и триасовых отложений нет [13, 15]. С инверсией связаны начало главных дислокаций, преобразовавших дотолу слабо деформированные толщ в линейно складчатую структуру, и первые фазы гранитоидного магматизма. Возникновением поднятия на Новой Земле и его соединением с поднятиями на Таймыре и Северной Земле было завершено обособление Баренцевского и Западно-Сибирского седиментационных бассейнов.

В таймырском регионе основные события рассматриваемого рубежа происходили в Таймырском приорогенном прогибе, где началу триаса отвечает новый ритм нисходящих движений. Вулканогенно-осадочная и вулканогенная толща индского возраста с перерывом и в ряде случаев с угловым несогласием перекрывает пермские и более древние отложения, но в целом раннетриасовый прогиб находится в контурах пермского. Параллельное соотношение верхнепермских и триасовых слоев в наиболее глубоких частях структур интерпретируется как скрытое несогласие. Конец татарского и индский века—это время наибольшей дифференциации и максимальных амплитуд нисходящих движений, а также начала инверсии в прогибе, завершение которой в рэтском веке приводит к его замыканию и становлению складчатой структуры. К началу триаса относится наиболее мощная вспышка основного магматизма—излияния платобазальтов трапповой формации. Север п-ова Таймыр и Северная Земля в раннем триасе оста-

вались поднятыми, проявления основного магматизма были слабыми.

Обширные пространства Западно-Сибирского седиментационного бассейна с начала триаса становятся ареной активного тафрогенеза. Консидиментационные грабены с вулканогенно-осадочным и эффузивным выполнением установлены от его юго-западных до северо-восточных пределов. Наиболее известные примеры—Пурский и Челябинский грабены. Такого же типа структуры намечаются по геофизическим данным в Южно-Карской синеклизе, как на суше в районе п-ова Ямал, так и в южной части акватории Карского моря. Тафрогенезу предшествовали пенепленизация, широкое распространение кор выветривания.

На северо-востоке Азии и прилегающих акваториях внутренняя структура Арктической геоперессии, сложившаяся к началу триаса, впоследствии была разрушена в результате развития притихоокеанских геосинклиналей, однако общая концентрическая зональность геоперессии по триасовым отложениям реконструируется надежно.

В геосинклинальной области начало индского века ознаменовалось ростом интрагеосинклиналей, служивших областями размыва и местными источниками сноса обломочного материала. Вследствие этих поднятий возникли структурные и стратиграфические несогласия в основании триаса на границе с пермью. В основании триасовых толщ в индском ярусе широко распространены линзы и прослои кремней и проявления основного магматизма в интрагеосинклиналях. В то же время для Чукотской системы остается неясным, произошло ли заложение интрагеосинклиналей с начала триаса или они развиваются унаследованно с пермского времени. В Верхоянье к границе перми и триаса приурочены одна из фаз восточной миграции прогиба и, по-видимому, общее углубление бассейна [12].

Рубеж поздний мел—палеоген разделяет доокеаническую и океаническую стадии развития геодинамической системы Арктики. С образованием во второй половине раннего мела

Охотско-Чукотского вулканогенного пояса доминирующая роль процессов, обусловленных активностью геодинамической системы океана, еще более утвердилась. Моменты качественных преобразований системы стали решающими рубежами в истории всей арктической области.

Конец позднего мела — начало палеогена знаменуется обращением сводового поднятия, существовавшего в центре Арктической геодепрессии на месте современной глубоководной котловины и поставлявшего терригенный материал в окружающие его седиментационные бассейны [9]. Обращение сводового поднятия (геотумора) носило рифтогенный характер с образованием линейной дивергентной системы раздвигов, обусловивших спрединговую структуру коры в практически замкнутых океанических впадинах (Гренландско-Норвежский и Евразийский бассейны океана). Между пограничными орогенами и центральной областью интенсивных погружений сформировалась материковая центриклиналь, внутренняя зона которой была местом шельфовой седиментации. В противоположность рифтогенному генезису Норвежско-Гренландского и Евразийского бассейнов, Амеразийский бассейн образовался в результате прогибания Гиперборейской платформы и ее складчатого обрамления. Особенности аномального магнитного поля и подводного рельефа не позволяют приписать этому бассейну спрединговую природу. Судя по сейсмическим разрезам борта Канадской котловины, обособление Амеразийского бассейна в качестве глубоководной части океана началось в палеогене и связано, вероятно, с седиментационным голоданием, вызванным исчезновением важной области сноса, бывшей на месте геотумора. Недокомпенсация прогибания осадками имела место в это время во всей центральной, интенсивно проседающей области геодинамической системы и стала характерной чертой седиментогенеза для последующей истории Арктической геодепрессии. Таким образом, по происхождению и развитию Амеразийский бассейн может считаться переуглубленным (недокомпенсированным) окраинным морем.

Принципиальной перестройке центра геодинамической системы предшествовало постепенное нивелирование срединно-арктической суши, которая уже в конце раннего мела перестала быть источником терригенного материала окружающих седиментационных бассейнов [1]. Позднемеловая трансгрессия в западном секторе Арктики распространилась с севера. Низкая температура вод этой трансгрессии на фоне умеренно теплого климата увеличивает на существование в центре Арктической геодепрессии прогибов, связанных с ними глубоководных приливов, соединяющих морские бассейны геодепрессии с Мировым океаном.

Таким образом, инверсия сводового поднятия — геотумора в центре Арктической геодепрессии была достоянием длительного процесса, первичными признаками которого проявляются с конца раннего мела. Кульминацией данного процесса приходится на конец датского века — начало палеогена. К этому времени относятся многочисленные проявления основного магматизма в обрамлении глубоководных бассейнов и, в частности, начало формирования базальтов Туле, а также образование Карского и Попигаевского взрывных кратеров. Однако наиболее мощно основной магматизм проявился в самих рифтогенных бассейнах, что отмечается магнитной аномалией.

В материковом обрамлении Северного Ледовитого океана в конце мелового большинства приподнятых участков суши было максимально сивелировано, а с начала палеогена происходило общее поднятие и регрессия. Однако пределах ряда крупных унаследованных впадин (Южно-Карская и другие в Баренцево-Карской акватории) терригенные палеогеновые толщи накапливались без перерыва с самого конца позднего мела, и общее поднятие отражается лишь в обмелении бассейнов. В Лаптевском седиментационном бассейне поднятие сопровождалось рифтогенезом, при этом конседиментационные грабены на шельфе являются продолжением рифтовых долин хребта Гаккеля и разломных зон предконтинентальных прогибов Евразийского бассейна.

В горно-складчатых системах Северо-Востока Азии в позднем мелу практически прекращается гранитоидный магматизм, связанный с эпигеосинклинальным орогенезом Северо-Тихоокеанского подвижного пояса, и резко ослабевает вулканизм в Охотско-Чукотском поясе и его ответвлениях.

Становление арктических шельфов в современных границах обусловлено развитием континентального склона и поднятия как элементов глобальной тектоники. Хронологически это связано с неотектоническим этапом, характеризующим очередную планетарную пульсацию и начавшимся в Арктике в конце олигоцена — миоцене.

Выделение четырех основных рубежей в истории геологического развития Арктической континентальной окраины СССР в неогее имеет не только общетеоретическое, но и практическое значение: они делят эволюцию осадочной оболочки материковых окраин океана и связанную с ней историю миграции на главные этапы направленных преобразований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грамберг И. С., Ронкина З. З. Позднепалеозойско-мезозойский этап в истории палеогеографического развития Советской Арктики. — В кн.: Мезозой Советской Арктики. Новосибирск, 1983, с. 12—19.
2. Захаров Ю. И., Забияка А. И. Структурно-формационная зональность докембрия Таймырской складчатой области. — В кн.: Геология и метаморфогенное образование докембрия Таймыра. Л., 1983, с. 26—48.
3. Каменева Г. И. Домезозойские отложения о. Врангеля, Автореф. канд. дис. Л., НИИГА, 1975.
4. Коско М. К. Строение и история развития Котельничского складчатого комплекса (Новосибирские острова). Автореф. канд. дис. Л., НИИГА, 1980.
5. Красильщиков А. А., Лившиц Ю. Я. Тек-

тоника о. Медвежий. — Геотектоника, 1974, № 4, с. 39—51.

6. Погребницкий Ю. Е. Палеотектонический анализ Таймырской складчатой области. Л., Недра, 1971. (Труды НИИГА, т. 166).
7. Погребницкий Ю. Е. О новых направлениях в тектонике, диктуемых современными данными о глубинном строении предконтинентов. — В кн.: Тектоника Арктики, вып. 1. Л., 1975, с. 70—75.
8. Погребницкий Ю. Е. Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и ее структурная эволюция. — Сов. геология, 1976, № 12, с. 3—22.
9. Ронкина З. З., Вишневецкая Т. Н. Глаукофан в осадочных толщах западной части Советской Арктики. — Сов. геология, 1982, № 7, с. 90—93.
10. Соколов В. Н., Красильщиков А. А., Лившиц Ю. Я. Тектоника архипелага Шпицберген. — Геотектоника, 1968, № 2, с. 65—82.
11. Спизжарский Т. Н. Обзорные тектонические карты СССР. Л., Недра, 1973.
12. Тектоника Северной Полярной области Земли. Объяснительная записка к тектонической карте Северной Полярной области Земли М-ба 1:5 000 000. Ред. Б. Х. Егизаров. Л., изд. НИИГА, 1977.
13. Устрицкий В. И. Пермский этап развития Новой Земли. — В кн.: Тектоника Арктики. Складчатый фундамент шельфовых седиментационных бассейнов. Л., 1977, с. 41—54.
14. Устрицкий В. И., Степанов Д. Л. Палеобиогеография и климат Евразии в Перми. — В кн.: Докл. советских геологов. XXV сессия МГК. Палеонтология. Морская геология, М., 1976, с. 103—108.
15. Устрицкий В. И. Триасовые и верхнепермские отложения п-ова Адмиралтейства (Новая Земля). — В кн.: Литология и палеогеография Баренцева и Карского морей. Л., 1981, с. 55—65.
16. Хапилин А. Ф. Геологическое развитие Северной Земли в палеозое — раннем мезозое (на основе формационного анализа). Автореф. канд. дис. ПГО «Севморгеология», 1983.
17. Харланд В. Б. Схема структурной истории Шпицбергена. — В кн.: Геология Арктики. Докл. на I Международном симпозиуме по геологии Арктики. М., 1964, с. 11—77.
18. Яншин А. Л. Принципы составления карты и ее условные обозначения. — В кн.: Тектоника Евразии. М., 1966, с. 13—31.

ДК 551.14 : 551.242 (571.1.5)

С. СУРКОВ, В. П. КОРОБЕЙНИКОВ, О. Г. ЖЕРО, М. П. ГРИШИН, П. ЩЕГЛОВ, В. С. СТАРОСЕЛЫЦЕВ, Л. В. СМЕРНОВ, И. МИКУЛЕНКО (СНИИГГиМС)

Эволюция и глубинная структура земной коры Сибири

Структурно-вещественные комплексы Сибири состоят из архейско-нижнепротерозойских, архнепротерозойских, палеозойских и мезозойских образований. Дорифейские ком-

плексы на современной поверхности земной коры представлены фрагментарно, их тектонические формы и структурные связи чрезвычайно трудно поддаются распознаванию и типизации.

Несравненно лучше изучены комплексы верхнего протерозоя, палеозоя и мезо-кайнозоя. На основании анализа геологических и геофизических материалов установлено, что главнейшие черты структуры земной коры Сибири, так же как и других провинций мира, определяются циклическими глубинными процессами, которые зарождаются в нижней части мантии и ядре Земли [12, 13]. В каждом крупном мегацикле выделяются две основные стадии: преобладающего растяжения (деструктивная) и преобладающего сжатия (конструктивная).

Деструктивная стадия развития имеет многообразные поверхностные формы реализации, но в принципе их можно свести к двум основным структурным типам — линейному и изометричному. К линейному относится рифтогенез — как континентальный, так и океанический (спрединг). Изометричный тип деструкции обуславливает формирование крупных внутриконтинентальных впадин и окраинных морей западнотихоокеанского типа, а также некоторых видов региональных кольцевых структур. Процессы деструкции основаны, по-видимому, на явлении активного мантийного диапиризма, способного привести в действие и обеспечить длительное, унаследованно-направленное функционирование сложных глубинных тектономагматических систем. Главные энергетические источники тектогенеза еще далеко не ясны, очевидно их следует усматривать в процессах, происходящих на границе ядра и мантии [2, 13], которые приводят к высвобождению огромного количества тепловой энергии, вызывая гравитационную неустойчивость мантийной системы [15].

Генерация тепловой энергии, передача ее в верхние слои Земли и гравитационное всплывание мантийных диапиров с последующей их магматической активизацией способствуют возникновению в пределах крупных сегментов Земли очагов с возбужденным состоянием подкорового вещества. Термомеханические напряжения, создающиеся при этом, передаются в литосферу и ее верхнюю часть — земную кору. Интенсивность, длительность и результативность воздействия возбужденного мантийного вещества на окружающую среду зависят, в свою очередь, от многих факторов; главнейшие из них — потенциальная энергия очагов, мощность, жесткость и степень изотропности литосферы. Геологические наблюдения за унаследованным в генеральных чертах развитием разновозрастных тектономагматических систем и геофизические данные позволяют считать, что процесс активного воздействия мантийных тепломассопотоков на крупные геоблоки Земли продолжается от нескольких геологических периодов до геологической эры, а возможно, и дольше [1, 5, 7, 8, 14, 18].

Как показывают расчеты, суммарный энергетический потенциал групп крупных очагов возбужденной мантии достаточен для того, чтобы не только расколоть литосферу по некоторым линейным зонам на плиты и геоблоки, но и раздвинуть их на значительные расстояния [9, 11]. Интенсивная магматогенно-метаморфогенная переработка наиболее подвижных звеньев тектономагматических систем, возникающих в нижней части земной коры, приводит к сокращению толщины коры, а заполнение межблоковых (межплитных) пространств

материалом из мантии и «базальтового» слоя — к увеличению площади подвижного пояса. В результате тангенциальных напряжений в соседних зонах образуются дейтероогенные складчато-глыбовые сооружения.

Конструктивная стадия развития подвижного пояса, соответствующая «угасанию» функционирования мантийных очагов, связана преимущественно с внутрилитосферными процессами. На этой стадии напряжения сжатия преобладают над растяжением. При этом формируются собственно геосинклинальные и проторогенные структурно-вещественные ассоциации, происходят сокращение площади подвижного пояса и резкое наращивание мощности новой континентальной коры.

Обе эти стадии — деструктивная и конструктивная — составляют единый тектономагматический мегацикл.

Широкое развитие на территории Сибири докарельских и карельских структурно-вещественных комплексов позволяет говорить о специфической, весьма сложной и длительной (около 2 млрд. лет) истории их дорифейского развития, включающей несколько мегациклов.

Начиная с рубежа 1600 млн. лет, уже достаточно обоснованно выделяются рифейский, позднеархейско-палеозойский мегациклы, первая стадия позднеархейско-кайнозойского мегацикла [17]. Два последних, в свою очередь, разделяются на циклы. Например, позднеархейско-палеозойский мегацикл состоит из салаирско-каледонского и герцинского циклов. В течение циклов формируются соответствующие латерально-вертикальные комплексы, включающие собственные геосинклинальные, дейтероогенные, проторогенные и плитные комплексы [3, 6, 10].

Архейско-раннепротерозойские глубокометаморфизованные структурно-вещественные комплексы наиболее широко представлены в фундаменте Сибирской платформы. На данную поверхность они выходят в пределах Алданского щита, Анабарского массива, Шаргалгайского выступа, но на большей части территории перекрыты толщами осадочных вулканогенных образований платформенного чехла (рис. 1).

В горно-складчатых сооружениях юга Сибири дорифейские тектонические комплексы достоверно могут быть выделены лишь в пределах байкальской складчатой системы Восточного Саяна и Енисейского кряжа, где они образуют группу выступов комплекса снования байкалит. Крупнейшие из них — Бюсинский, Канский, Дербинский и Ангара-Канский. Результаты геолого-геофизического моделирования структуры земной коры этой части территории Сибири позволяют предполагать присутствие здесь карельских, а возможно, и более древних структурно-вещественных ассоциаций в составе гранитно-метаморфического и «базальтового» слоев.

На основании анализа геологического строения мегакомплексов и моделирования структуры земной коры в гравитационном поле в опорных сейсмических разрезах можно утверждать, что образования карельского и докарельского мегакомплексов на территории Западной Сибири также присутствуют в составе нижней части гранитно-метаморфического значительной части «базальтового» слоя

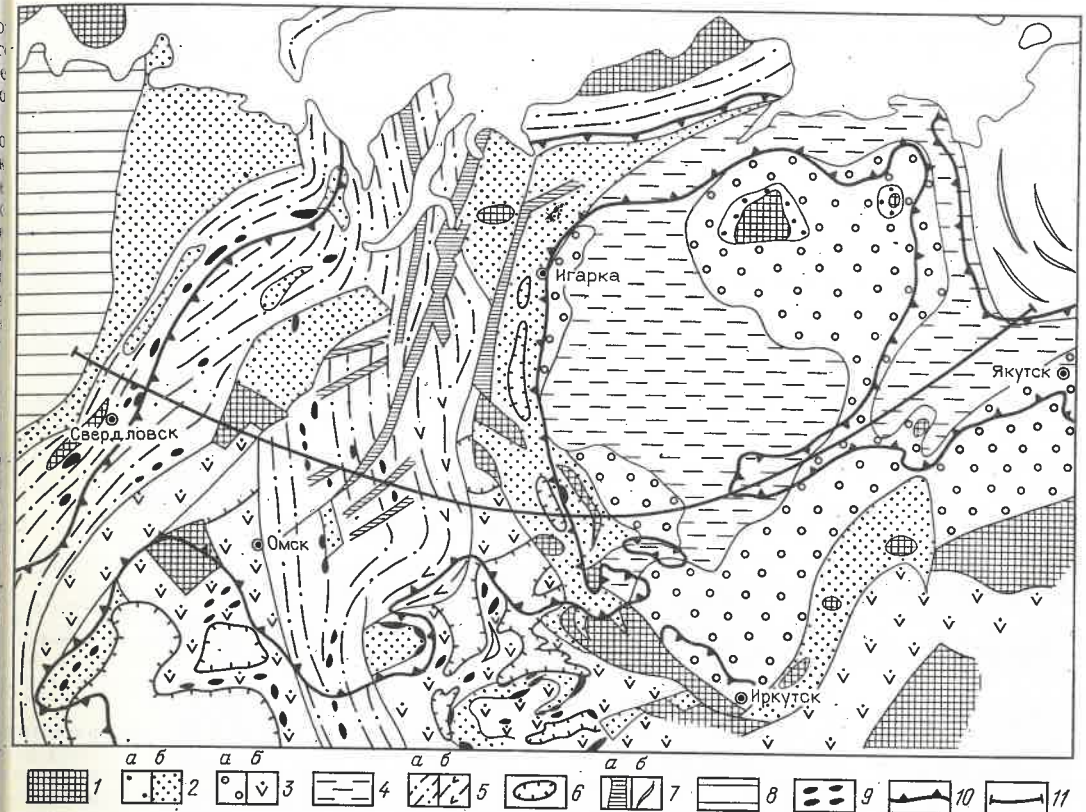


Рис. 1. Схема распространения структурных комплексов Сибири

1 — нерасчлененные мегакомплексы архейско-раннепротерозойского мегацикла; 2 — структурные комплексы рифейского мегацикла (а — плитный, б — геосинклинальный); 3-5 — мегакомплексы позднеархейско-палеозойского мегацикла: 3 — салаирско-каледонский (а — плитный, б — геосинклинальный и проторогенный комплексы), 4-5 — герцинский; 4 — плитный, 5 — геосинклинальный и проторогенный комплексы на байкальском (а) и салаирско-каледонском

(б) фундаменте; 6 — граница распространения постгеосинклинального (дейтероогенного) комплекса; 7 — комплексы мезо-кайнозойского мегацикла (а — раннемезозойский рифтовый Западно-Сибирской плиты, б — геосинклинальный); 8 — нерасчлененные плитные комплексы Восточно-Европейской платформы; 9 — офиолитовые и гипербазитовые пояса; 10 — граница распространения мезо-кайнозойского плитного комплекса; 11 — линия глубинного разреза (см. рис. 2).

(рис. 2). В фундаменте Западно-Сибирской плиты выявляются три крупных блока (Уватский, Верхнекетский и Недояхский), где карельский метаморфический мегакомплекс слабо переработан в процессе последующего развития (см. рис. 1). Наличие подобных древних блоков на Урале свидетельствует о том, что в раннем протерозое они представляли единое целое с архейско-раннепротерозойскими мегакомплексными Сибирской и Восточно-Европейской платформ. Карельский мегакомплекс, за исключением указанных блоков, служит основанием рифейских и палеозойских геосинклинально-складчатых систем. В связи с этим глубина залегания кровли этого мегакомплекса характеризуется большой амплитудой — от единиц километров в пределах ядра антиклинориев и срединных массивов до десятков километров и более в пределах герцинских инверсионных антиклинориев (см. рис. 2).

В современном плане структурная ассоциация кристаллического фундамента Сибирской платформы представлена сложной мозаикой геоблоков разновозрастных структурно-вещественных мегакомплексов — «останцов» ранее об-

ширных складчатых систем. Среди них выделяются: Иенгская (катархейская), Алданская и Анабарская (ранние архейды), Ангара-Тунгусская и Батомгская (поздние архейды), Олекминская и Оленекская (ранние карелиды), Ангара-Ленская и Котуйская (поздние карелиды).

В раннеархейский этап на значительной части территории Восточной Сибири (Алдано-Анабарская складчатая система) кора практически полностью утратила «пластичность» и установился длительный орогенный режим.

Формирование позднеархейских подвижных поясов происходило на уже более или менее жестком раннеархейском континентальном субстрате. Ареной активного проявления тектономагматической деятельности служили главным образом западная (Ангара-Тунгусская складчатая система) и юго-восточная (Батомгская складчатая система) области платформы.

В раннепротерозойский этап происходит дальнейшее усложнение структуры земной коры Сибири: развиваются раннепротерозойские подвижные пояса, геосинклинальное развитие которых завершилось в протерозое становле-

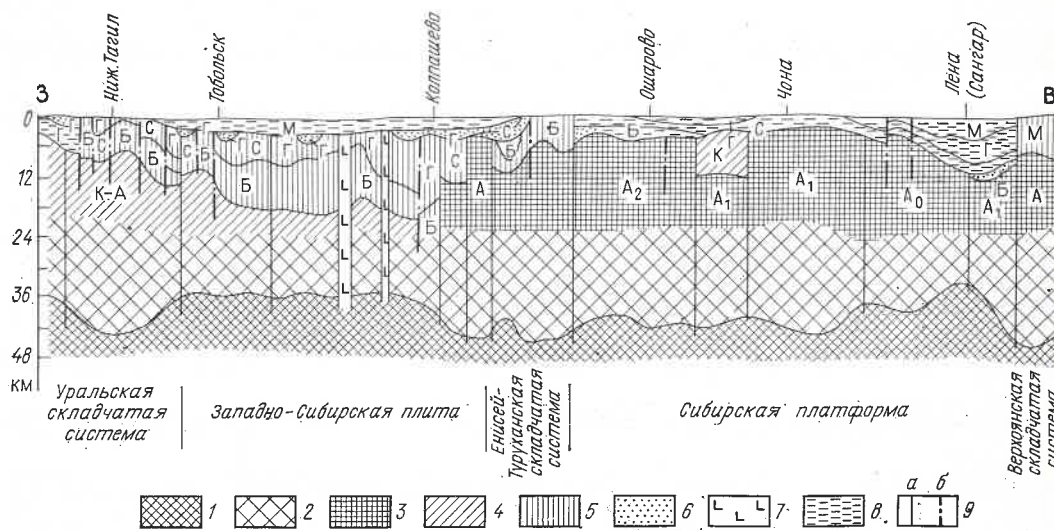


Рис. 2. Глубинный разрез земной коры Сибири
1 — верхняя мантия; 2 — базальтовый слой; 3—4 — кристаллические комплексы архея (3) и раннего протерозоя (4); 5 — геосинклинальные комплексы рифея и фанерозоя; 6 — протоорогенные и дейтероорогенные комплексы рифея—фанерозоя; 7 — триасовый рифтовый комплекс; 8 — плитные комплексы;

нием Ангара-Ленской и Котуйской складчатых систем. В это же время происходит окончательная консолидация гетерогенного фундамента Сибирской платформы и, по-видимому, возникновение единой Евразийской прото-платформы.

Начало рифейской эпохи в истории земной коры Сибири знаменуется зарождением принципиально нового тектоно-магматического мегацикла. Нарушение изостатического равновесия геоблоков раннекембрийской континентальной коры, обусловленное изменением баланса глобальной глубинной энергетической системы, привело к расколу Евразийской прото-платформы на отдельные литосферные плиты и их раздвигу. В результате произошло, по-видимому, обособление Восточно-Европейской, Сибирской, Северо-Китайской и Таримской плит и образование сложно построенного подвижного Урало-Монгольского пояса.

На территории Сибирской платформы и особенно в ее западной части эти тектонические преобразования выразились в широком проявлении коро-мантийного диапиризма. Вдоль западной окраины платформы заложилась Енисей-Туруханская рифейская островодужная система. Впервые начинает отчетливо проявляться структурно-формационная зональность. В пределах древних гомологов островных дуг, глубоководных желобов и междугубов бассейнов в условиях высокой степени подвижности тектоносферы по всему разрезу земной коры происходило активное взаимодействие мантийно-корового вещества. При этом осуществлялись преобразование и дифференцированный рост «базальтового» слоя. В зонах растяжения поднимающиеся мантийные массы формируют ассоциации пород, близкие по составу и строению к коре океанического типа.

На территории Сибирской платформы рифейский мегацикл был переходным от орогенного

9 — разломы (а — разграничивающие области складчатости разного возраста, б — прочие); структурно-вещественные мегакомплексы: А — архейский (А₀ — катархейский, А₁ — раннеархейский, А₂ — позднеархейский), К — карельский, Б — байкальский, С — саяно-алтаирско-каледонский, Г — герцинский, М — мезозойский

к собственно платформенному этапу развития земной коры. Начало и продолжительность пачом сжатия, а мантийный магматизм — корореходного этапа в различных районах платформ. В седиментационных бассейнах внешних форм были, по-видимому, неодинаковыми: многогеосинклинальных зон до конца стадии провосточных районах — это эпоха формирования и накопления турбидитов, завершив отложений нижнего рифея, в западных — среднею общей складчатостью толщ и метаморного, а местами, возможно, и низов верхнеархейского.

Осадконакопление, преимущественно в островодужных системах в начале стадии терригенное и карбонатно-терригенное со слероисходили излияния лав дифференцированных форм проявления вулканизма, происходивших базальтоидов и андезитов, формировались главным образом в глубоких прибортовых джанне гранитоиды, в конце ее накапливались прессиях, а во внутренних районах — в протяженные терригенные толщи — флишодные, а женных грабенообразных прогибах авлакогенные складчатости — молассоидные. В задунного типа, генетически связанных с активными и турбидитных бассейнах до конца стазацей глубинных разломов. Мощность отлони продолжалось накопление осадочных жений увеличивается в сторону прибортовых толщ. Складчатость общего сжатия в конце крупных грабенообразных прогибов платформ рифейского мегацикла сопровождалась явлениями горизонтального перемещения масс земной коры, особенно отчетливо в пределах офиолитовых поясов.

Отложения среднего и верхнего рифея в большинстве районов залегают на эрозионно-поверхности архейских и ранне-среднепротерозойских систем фундамента Западно-Сибирской зойских комплексов кристаллического фундамента байкальский геосинклинальный комплекс мента, а в пределах наиболее глубоких пролагает ядра герцинских антиклинорных зон. гибов (за редким исключением) — с размытием на Урале этот комплекс развит в Харбейском антиклинории, в пределах фундамента Западно-Сибирской плиты он слагает Северо-Соськи переходного этапа в целом, отметим, чтоинский антиклинорий. Здесь группой чужьнаблюдаемые в различных районах платформских, шаховских и березовских скважин изменения фациального состава пород, страскрыты кварц-роговообманковые и слюдяные тиграфического объема, а также мощностесланцы, гнейсы и гранито-гнейсы. Возможно, разрезов рифейских образований, свидетелчто среди этих глубокометаморфизованных поствуют о структурной обособленности бассейрол присутствует также и карельский мегакомплекс.

Оценивая структурно-динамические обстаново-Сибирской плиты он слагает Северо-Соськи переходного этапа в целом, отметим, чтоинский антиклинорий. Здесь группой чужьнаблюдаемые в различных районах платформских, шаховских и березовских скважин изменения фациального состава пород, страскрыты кварц-роговообманковые и слюдяные тиграфического объема, а также мощностесланцы, гнейсы и гранито-гнейсы. Возможно, разрезов рифейских образований, свидетелчто среди этих глубокометаморфизованных поствуют о структурной обособленности бассейрол присутствует также и карельский мегакомплекс.

В осевой части Урало-Монгольского подвижта. По особенностям строения аномального пояса в рифее на деструктивной стадии силы тяжести, представляющего собой своеобразно сформировалась рифтовая система. Ксеногенобразную «решетку», образованную аномальные фрагменты ее осевых элементов установлениями от пересекающихся байкальских и гер-

цены в Чарском районе Обь-Зайсанской складчатой зоны герцинид, а по геофизическим данным и глубокому бурению — в фундаменте Западно-Сибирской плиты (см. рис. 1) [17]. Мощность сопутствующих вулканических и осадочно-вулканогенных толщ по результатам моделирования составляет ориентировочно 1,5—3 км. К востоку от рифтовой системы (а скорее всего по обе стороны ее) располагались относительно глубоководные турбидитные бассейны, разобщенные банками и архидеагами в пределах слабо деструктурированных флюков древней сиаической коры (Телецко-Тулушманский, Теректинский, Джебашский типы). Турбидитные толщи, достигающие в прикратонных областях мощности 8—10 км, содержат прослой кремнистых пород и основных вулканитов с трапповым уклоном химизма [4]. На банках отлагались карбонатные и кремнисто-карбонатные фосфатные осадки мощностью до 2,5—3 км. Среди карбонатных отложений спорадически встречаются локальные поля основного состава. Эпикратонные бассейны и подвижный пояс в морфо-тектоническом отношении представляли собой обширный морской бассейн — палеокеан.

На второй (конструктивной) стадии рифейского мегацикла снижается динамизм мантийных масс, но усиливается их термальное воздействие на земную кору за счет кондуктивной теплопроводности жидких и газовых флюидов. Режим расширения сменяется режимом сжатия, а мантийный магматизм — корореходного этапа в различных районах платформ. В седиментационных бассейнах внешних форм были, по-видимому, неодинаковыми: многогеосинклинальных зон до конца стадии провосточных районах — это эпоха формирования и накопления турбидитов, завершив отложений нижнего рифея, в западных — среднею общей складчатостью толщ и метаморного, а местами, возможно, и низов верхнеархейского.

Осадконакопление, преимущественно в островодужных системах в начале стадии терригенное и карбонатно-терригенное со слероисходили излияния лав дифференцированных форм проявления вулканизма, происходивших базальтоидов и андезитов, формировались главным образом в глубоких прибортовых джанне гранитоиды, в конце ее накапливались прессиях, а во внутренних районах — в протяженные терригенные толщи — флишодные, а женных грабенообразных прогибах авлакогенные складчатости — молассоидные. В задунного типа, генетически связанных с активными и турбидитных бассейнах до конца стазацей глубинных разломов. Мощность отлони продолжалось накопление осадочных жений увеличивается в сторону прибортовых толщ. Складчатость общего сжатия в конце крупных грабенообразных прогибов платформ рифейского мегацикла сопровождалась явлениями горизонтального перемещения масс земной коры, особенно отчетливо в пределах офиолитовых поясов.

В современной структуре Урала и складчатоперхности архейских и ранне-среднепротерозойских систем фундамента Западно-Сибирской зойских комплексов кристаллического фундамента байкальский геосинклинальный комплекс мента, а в пределах наиболее глубоких пролагает ядра герцинских антиклинорных зон. гибов (за редким исключением) — с размытием на Урале этот комплекс развит в Харбейском антиклинории, в пределах фундамента Западно-Сибирской плиты он слагает Северо-Соськи переходного этапа в целом, отметим, чтоинский антиклинорий. Здесь группой чужьнаблюдаемые в различных районах платформских, шаховских и березовских скважин изменения фациального состава пород, страскрыты кварц-роговообманковые и слюдяные тиграфического объема, а также мощностесланцы, гнейсы и гранито-гнейсы. Возможно, разрезов рифейских образований, свидетелчто среди этих глубокометаморфизованных поствуют о структурной обособленности бассейрол присутствует также и карельский мегакомплекс.

цинских структур, в зауральской части Западно-Сибирской плиты выделяется еще ряд мест, где предполагается выход байкальского геосинклинального комплекса в ядрах герцинских антиклинориев (Гортский, Полуйский, Сартыньинский, Шаимский антиклинории). Во многих случаях рифейские сланцы и гранито-гнейсы в таких выступах вскрыты скважинами.

Относительно более молодые байкальские геосинклинальные толщи вскрыты скважинами на Большелайдинской, Ермаковской, Щучинской, Костровской и Косминской площадях, расположенных в восточной части Западно-Сибирской плиты. Они здесь представлены хлорит-биотитовыми, слюдяно-кварцевыми, кварц-серицитовыми сланцами, известняками и доломитами.

Байкальский мегакомплекс является основанием салаирско-каледонского и герцинского мегакомплексов, поэтому гипсометрия его поверхности характеризуется очень широким диапазоном — от 2—3 км в ядрах антиклинориев до 12—16 км в синклинориях и инверсионных антиклинориях поздних герцинид (см. рис. 2).

Рифейский тектоно-магматический мегацикл продолжался около 1 млрд. лет и завершился на рубеже около 800 млн. лет образованием складчатого пояса байкалид, представляющего собой новую континентальную кору.

С конца рифея начался новый — поздне-рифейско-палеозойский — тектоно-магматический мегацикл. На первой — деструктивной — стадии развития земной коры этого мегацикла под воздействием очагов возбужденной мантии в результате магматогенно-метаморфогенной переработки нижних частей коры произошел раскол байкальского и добайкальского субстрата на плиты с заложением новых рифтовых и островодужных систем. К этому времени относится возникновение Уральской рифтовой и Озерно-Кузнецкой островодужной систем с элементами коры океанического типа, а также обширных осадочных бассейнов, основанием которых служит кора континентального типа. Межплитные пространства заполнились мантийным материалом. Раздвиги привели к увеличению площади подвижного пояса. Палеокеан в палеозое охватывал практически всю территорию современного Евразийского континента.

На второй — конструктивной — стадии развития происходит этапное формирование геосинклинально-складчатых систем с новой континентальной корой.

С салаирско-каледонским циклом связывается консолидация в среднем кембрии Озерно-Кузнецкой островодужной системы, которая протягивается на 3500 км (при ширине 150—200 км) со стороны Монголии, охватывая Кузнецкий Алатау и Салаир. В строении ее различают два субпараллельных палеовулканических пояса. Для внешнего пояса типична офиолитовая ассоциация пород, а для внутреннего — дифференцированные базальтоиды, андезиты и многочисленные крупные плутоны гранитоидов. С внешней (западной) стороны к островодужной системе примыкали многогеосинклинальные бассейны горноалтайского типа, выполненные турбидитами мощностью 6—8 км, которые подстилается песчано-кремнисто-сланцевой толщей мощностью до 2 км с маломощ-

ными горизонтами основных вулканитов. С внутренней стороны островной дуги располагаются многоэпиклиналильные бассейны, местами осложненные рифтами, устойчивые массивы, косопоперечные эвгеосинклиналильные зоны островодужного типа, а еще ближе к кратону — система поднятий и прогибов, заполненных молассовыми или мелководными морскими отложениями. К этой части приурочены ареальные проявления офиолитового магматизма и сложные многофазные плутоны более поздних гранитоидов, в совокупности маркирующие эпиконтральные части мантийных диапиров.

Салаирско-каледонский тектонический мегакомплекс в составе фундамента Западно-Сибирской плиты в основном представлен геосинклиналильными структурно-формационными зонами. Только на востоке плиты (в Енисейском регионе) венд-нижнепалеозойские отложения являются плитными. Несколько условно к плитному комплексу могут быть отнесены и отложения, развитые на срединных массивах, таких как Уват-Ханты-Мансийский и Межовский. Стратиграфический объем и вещественный состав отдельных мегакомплексов исключительно разнообразны. Так, в пределах Приуральского региона, где фундаментом служит Уральская складчатая система, каледонский эвгеосинклиналильный мегакомплекс охватывает ордовикскую и силурийскую системы, в Приказахстанском регионе помимо ордовикско-силурийских локально развиты также и кембрийские.

На юго-востоке плиты, где в фундаменте наблюдаются погребенные под чехлом структурные зоны Озерно-Кузнецкой системы, салаирско-каледонский мегакомплекс представлен резко дифференцированными по вещественному составу венд-нижнекембрийскими карбонатными и вулканогенными геосинклиналильными образованиями. Среднекембрийские существенно андезитовые и ордовикские вулканогенно-осадочные породы здесь развиты локально и являются протоорогенными.

В центральных районах плиты часть салаирско-каледонского мегакомплекса на значительной части территории, по-видимому, отсутствует, хотя в отдельных точках скважины вскрыли породы, сходные по составу, окраске и измененности с кембро-ордовикской горно-алтайской серией южного обрамления плиты. Вероятно, в основном только силурийскими существенно карбонатными отложениями сложен салаирско-каледонский мегакомплекс на Уват-Ханты-Мансийской и Межовской срединных массивах. Кровля салаирско-каледонского мегакомплекса в различных районах Западно-Сибирской плиты погружена на разные глубины — от 1,5 до 12 км (см. рис. 2).

Эволюция салаирско-каледонских геосинклиналильных структур земной коры восточной части Урало-Монгольского пояса завершается в ордовике. К этому времени относится консолидация соответствующих структур Казахстанской геосинклиналильной системы.

С герцинским циклом (силур — поздний палеозой) связывается окончательное оформление Урало-Монгольского складчатого пояса. При этом на большей его части (Урал, центральная часть Западно-Сибирской плиты, Таймыр и др.) формируются эвгеосинклиналильные и многоэпиклиналильные системы с новой кон-

тинентальной корой. В пределах Уральско-эвгеосинклиналильной системы, где в основании геосинклиналильных прогибов располагались герцинские рифтовые зоны, главными структурными элементами являются унаследованные синклинии [8]. Судя по составу магматических пород и строению земной коры Таймыра, Магнитогорского унаследованного синклинария, наиболее полный процесс рифтогенеза — спредингом литосферных плит был характерен по-видимому, именно для этой мегазоны. Геосинклиналильная Центральная-Западносибирская система, а также Таймыр развивались на силосическом субстрате, созданном в предшествующие циклы. На заключительном этапе глинисто-сланцевые геосинклиналильные прогибы инверсировали, и на их месте сформировались инверсионные антиклинории. Инверсия в прогибах сопровождалась глубоким метаморфизмом и гранитизацией глинисто-сланцевых толщ [7].

В зонах развития более древних складчатых комплексов, сопряженных с герцинскими геосинклиналиями, образовался дейтероорогенный комплекс. Дейтероорогенез в большинстве прогибов начинается мощным вулканизмом, который сменяется накоплением красно- и сероцветных угленосных моласс. В приподнятых зонах формировались гранитоиды.

Герцинский мегакомплекс Западно-Сибирской плиты сложен тектоническими комплексами всех генетических категорий, но по площади преобладают геосинклиналильные. Специфичность герцинского геосинклиналильного комплекса Западно-Сибирской плиты заключается в том, что в центральной и северной ее частях геосинклиналильные прогибы, несмотря на большую глубину прогибания, выполняются одочными терригенными и карбонатно-терригенными ассоциациями пород, а в Приуральской (западной) части — вулканогенно-осадочными магматическими образованиями основного состава, как это наблюдается в пределах поциклической Уральской геосинклиналии. Там где геосинклиналильное развитие завершилось позднем докембрии и раннем палеозое, а также на срединных массивах, герцинский мегакомплекс представлен образованиями унаследованно-наложенных впадин и типично плитными отложениями.

В позднем палеозое завершилось геосинклиналильное развитие Урало-Монгольского подвижного пояса. В Западной Сибири верхняя часть герцинского мегакомплекса представлена группой протоорогенных прогибов и впадин, связанных существенно молассами и вулканитами.

Территория Сибирской платформы в венд-раннекембрийское время практически вся была охвачена интенсивным слабодифференцированным прогибанием, в результате чего сформировалась толща преимущественно карбонатных пород мощностью более 2—2,5 км. Накопление отложений платформенного чехла продолжалось в течение всего фанерозоя, однако оно охватывало столь обширной территории платформы, как в раннем кембрии. Наиболее глубокое прогибание испытали зоны платформ, примыкавшие к активно развивавшимся геосинклиналильным областям. Кроме периконтонных опусканий на территории платформ в салаирско-каледонском цикле формировались

крупные структуры типа синеклиз и антеклиз, сводов и впадин, пространственное положение которых со временем несколько изменилось. В формационном отношении салаирско-каледонский мегакомплекс делится на две части (венд-нижнекембрийскую и среднекембрийско-силурийскую), для каждой из которых характерно увеличение роли терригенных компонентов ввиду разреза и карбонатных — вверх.

В раннегерцинское (девонско-раннекаменноугольное) время режим тектонических движений на Сибирской платформе резко изменился. Компенсированное осадками или вулканитами прогибание локализовалось в ее северо-западной (Курейская синеклиза) и юго-западной (Вилуйская гемисинеклиза) и юго-восточной (Восточная половина Тайшет-Рыбинской впадины) частях. Остальная территория платформы не испытывала погружения, что сопровождалось разрывом ранее накопленных пород ее чехла.

По интенсивности прогибания перечисленные структуры существенно различались. На большей части Курейской синеклизы амплитуда компенсированного прогибания не превышала нескольких сот метров и лишь на крайнем северо-западе достигала 1,5 км. В западной части Вилуйской гемисинеклизы мощность раннегерцинских образований превышает 3—5 км, а на востоке Тайшет-Рыбинской впадины составляет всего 150—200 м. В большинстве случаев раннегерцинские образования имеют карбонатно-терригенный состав, хотя на западе Вилуйской гемисинеклизы значительное место среди них занимают соли и вулканиты основного состава.

Позднепалеозойский этап характеризуется коренными структурными перестройками в пределах Восточной Сибири: заложилась и активно развивалась Верхояно-Чукотская геосинклинали, синхронно, а возможно и причинной связи, происходило погружение Таймыра; на Сибирской платформе сопряженно с ними формировались крупнейшие наложенные структуры — Тунгусская и Вилуйская синеклизы. С поздним палеозое связана довольно резкая смена формационного состава. На огромной территории Восточной Сибири накапливались относительно однообразные терригенно-угленосные образования карбона и перми. Мощности угленосной формации в Тунгусской синеклизе 0,5—1 км, в Вилуйской 2—3 км, в районах Верхоянья и Таймыра — 4—5 км.

Другая важная особенность рассматриваемого этапа — проявление в конце перми и начале триаса мощнейших процессов траппового магматизма, охватившего в основном Таймыр и северные районы Тунгусской синеклизы, где мощности пород трапповой формации достигают 5 км. В южных районах синеклизы мощности вулканогенных образований уменьшаются, одновременно лавовые образования сменяются туфогенными. В восточных районах Сибирской платформы синхронные вулканогенные (в основном туфогенные) и вулканогенно-осадочные образования перми и триаса составляют первые десятки метров.

Позднегерцинско-палеозойский тектоно-магматический мегацикл, с которым связаны образование салаирско-каледонского и герцинского мегакомплексов и окончательное оформление Урало-Монгольского складчатого пояса, завершается формированием новой континен-

тальной коры, характеризующейся увеличенной мощностью и жесткостью. На значительной части территории Сибири основанием салаирско-каледонского и герцинского геосинклиналильных мегакомплексов служит континентальная кора в основном, по-видимому, рифейского возраста.

Итак, к концу палеозоя континентальная кора на территории Сибири была представлена ассоциациями структурно-вещественных комплексов, образовавшихся в течение докарьельского, карельского, рифейского и позднегерцинско-палеозойского тектоно-магматических мегациклов.

С поздним палеозоем на Евразийском и Американском континентах мы связываем начало нового тектоно-магматического мегацикла, деструктивная стадия которого продолжается до настоящего времени.

На первом этапе здесь произошло погружение крупных сегментов Земли и образование обширных позднепалеозойских бассейнов. В этот период формируются бассейны в пределах Северо-Западной Европы, севера и востока Сибири, Северной Америки. Воздействие мантии на литосферу в последующие периоды обусловило возникновение к северо-востоку от Сибирского кратона островодужной системы, на месте которой образуется Верхояно-Чукотская геосинклиналильная система. В основном в триасе на северо-западе Евразийского континента в пределах Западно-Сибирского бассейна [16], бассейнов Северо-Западной Европы, Северной Америки, в центральных районах Арктики и Северной Атлантики [9] заложилась рифтовые системы.

В конце мезозоя — начале кайнозоя активное воздействие очагов мантии на литосферу сосредоточивается в центральной части Северной Атлантики и Арктики, а также в переходной зоне запада Тихого океана. По этой причине периферийные (поперечные) рифтовые системы Западно-Сибирской плиты, Северного моря, Парижского бассейна и другие в мезозое не вышли из стадии так называемых континентальных рифтов [9]. В юрское время завершилось развитие и Верхояно-Чукотской геосинклиналильной системы.

Концентрация воздействия очагов возбужденной мантии в Арктико-Северо-Атлантической мегасистеме в кайнозое привела к раздвигу литосферных плит и образованию Атлантического и Северного Ледовитого океанов, в центрах которых возникли срединно-океанические хребты с новой корой океанического типа.

По обе стороны от срединно-океанических хребтов располагаются абиссальные равнины с корой континентального типа. В некоторых из них также установлены рифтовые зоны. Осадочные бассейны, в основании которых располагаются рифтовые зоны, в течение мезозоя и кайнозоя продолжали унаследованно прогибаться, выполняясь осадками большой мощности. Они формировались в условиях растяжения и устойчивого прогибания, повышенных тектонической активности и теплового потока, что способствовало ускоренной, более полной миграции углеводородов из осадков и образованию залежей нефти и газа. К такому типу осадочных бассейнов относятся Западно-Сибирская плита, бассейны Северного, Норвеж-

ского и других морей Арктики и Северной Атлантики.

На территории Сибирской платформы в начале мезозоя заложилась система крупных краевых депрессий: Енисей-Хатангский региональный прогиб, Лено-Анабарский мегапрогиб, Предверхоанский, Пристановой, Присаянские предгорные прогибы и ряд депрессий, примыкающих к Енисейскому кряжу. В краевых депрессиях севера и востока платформы накапливались терригенные толщи преимущественно морского генезиса, а в конце мезозоя — угленосные, общей мощностью 5—10 км. В депрессиях юга и юго-запада Сибирской платформы образования мезозоя представлены угленосными и терригенно-угленосными формациями мощностью 2—3 км.

С позиции изложенной тектоно-магматической цикличности развития земной коры, кайнозойский период следует, по-видимому, считать кульминационным этапом деструктивной стадии. На второй (конструктивной) стадии этого тектоно-магматического мегацикла можно ожидать формирования складчатых и орогенических поясов в Арктике, Атлантике и переходной зоне от континента к Тихому океану. На месте некоторых рифтовых зон и особенно срединно-океанических хребтов, а также глубоководных желобов и островных дуг с корой океанического типа будут формироваться эвгеосинклинальные системы, а в пределах современных окраинных морей и глубоководных впадин океанов — преимущественно миеосинклинальные системы.

Таким образом, главные черты развития структуры земной коры Сибири обусловлены проявившимися здесь тектоно-магматическими мегациклами и существованием, начиная с рифея, двух принципиально различных геоблоков: Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского. Первый соответствует Урало-Монгольскому подвижному поясу, второй — древнему Сибирскому кратону.

Урало-Монгольский пояс возник в результате дробления и преобразования литосферы с сиалической корой в центральной части единой Евразийской дорифейской прото-платформы. В истории его развития намечается ряд охарактеризованных выше тектоно-магматических мегациклов, каждый из которых начинался деструктивной стадией.

Рифейская и позднепалеозойско-раннемезозойская деструкции скорее всего происходили по схеме, близкой атлантическому типу современного глобального тектогенеза; позднерифейско-раннепалеозойская деструкция, проявившаяся в юго-восточной части, является очевидно, древним геоструктурным гомологом процессов, происходящих в кайнозое в западно-тихоокеанском сегменте.

Конструктивные процессы, соответствующие геосинклинальным и протоорогенным этапам развития, частично сопряжены с деструктивными, но преимущественно преобразуются из них. Они протекают, вероятно, в режиме преобладающего сжатия и формируют последовательные генерации сиалической коры в ее полном объеме.

Детальное моделирование с применением в качестве рабочих гипотез геодинамических концепций линейного и изометричного мантийного

диапиризма, сменявших друг друга во времени и в пространстве, без привлечения механизма субдукции, представляется наиболее гибким и перспективным направлением дальнейшего структурно-геоисторического анализа территории Сибири. Как показывают ранее проведенные исследования, именно с таких позиций возможна достаточно удовлетворительная интерпретация закономерностей исторического и структурного распределения профилирующих минерогенических ассоциаций Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ареальные* офиолиты Восточной Тувы. Диapiroвая модель развития структурных элементов подвижных поясов/В. П. Коробейников, А. П. Щеглов, В. С. Сурков, В. М. Исаков. — Геология и геофизика, 1980, № 9, с. 19—33.
2. *Артюшков Е. В.* Гравитационная конвекция в недрах Земли. — Физика Земли, 1966, № 9, с. 3—17.
3. *Боголепов К. В.* Критерии выделения тектонических комплексов и мегакомплексов при составлении «Атласа тектонических карт и опорных профилей Сибири». В кн.: Главные тектонические комплексы Сибири. Новосибирск, 1979, с. 8—15.
4. *Вулканические ассоциации докембрия Урало-Монгольской провинции*. /А. Ф. Белоусов, Н. Л. Добрецов, Т. А. Додонова и др. Новосибирск, Наука, 1976.
5. *Долгинов Е. А.* Докембрийская история материков и глобальный тектогенез. ВИНТИ. Сер. Общая геология, 1980, т. 15.
6. *Жеро О. Г., Смирнов Л. В., Сурков В. С.* Главнейшие тектонические комплексы дюрского фундамента Западно-Сибирской плиты. — В кн.: Главные тектонические комплексы Сибири. Новосибирск, 1979, с. 52—66.
7. *Зорин Ю. А., Новоселова М. Г., Рогожина В. А.* Глубинная структура территории МНР. Новосибирск, Наука, 1982.
8. *Казанцева Т. Т.* Происхождение и развитие геосинклиналей. Уфа, 1981.
9. *Континентальные рифты*. М., Мир, 1981.
10. *Коробейников В. П., Сурков В. С., Щеглов А. П.* Тектонические комплексы Алтая Саянской области. — В кн.: Главные тектонические комплексы Сибири. Новосибирск, 1979, с. 81—103.
11. *Ле Пишон К., Франшито Ж., Бонини Л.* Тектоника плит. М., Мир, 1977.
12. *Милановский Е. Е.* Пульсация и расширение Земли — возможный ключ к пониманию ее тектонического развития и вулканизма в фанерозое. — Природа, 1978, № 1, с. 22—34.
13. *Новая глобальная тектоника*. М., Мир, 1974.
14. *Развальяев А. В.* Эндогенные режимы, преобладающие в рифтогенезе. — Геотектоника, 1979, № 6, с. 32—41.
15. *Сила тяжести и тектоника*. М., Мир, 1977.
16. *Сурков В. С., Жеро О. Г.* Роль рифтогенеза в развитии литосферы в северной части Монголо-Охотского подвижного пояса. Геология и геофизика, 1978, № 9, с. 31—38.
17. *Сурков В. С., Жеро О. Г.* Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. М., Недра, 1981.
18. *Тектоника Востока Азии и дальневосточных морей*. /М. С. Марков, Ю. М. Пушаровский, С. М. Тильман и др. — Геотектоника, 1979, № 1, с. 3—21.



ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ

УДК 553.981 : 551.242.2(21)

В. Е. ХАИН, Б. А. СОКОЛОВ (МГУ)

Окраины континентов — главные нефтегазоносные зоны Земли

К настоящему времени твердо установлено, что подводные окраины континентов, современные и древние, представляют собой основные области нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции. Это объясняется тем, что именно указанные структурные элементы земной коры отвечают главному условию нефтегазоносности — мощному прогибанию и осадконакоплению, происходящим в течение достаточно длительного времени и способствующим появлению обширного очага нефтегазообразования. Энергичная генерация углеводородов из этого очага предопределяется также интенсивным прогревом под действием газожидких флюидных потоков, закономерно сопутствующих мощному прогибанию.

Исходя из современных воззрений нефтегазоносность можно рассматривать как стадийное свойство осадочных пород, приобретаемое ими в процессе уплотнения и прогрева. Для того чтобы органическое вещество нефтематеринских осадочных пород стало генерировать нефть в заметных количествах, им необходимо погрузиться на глубину 2—4 км, где температура достигает 80—120 °С. Зона действия таких температур получила название главной зоны нефтеобразования. Считается, что именно в этой зоне материнские породы достигают необходимой зрелости, способствующей интенсивному новообразованию жидких углеводородов. Последующее погружение пород в зону более высоких температур, 150—250 °С (на глубину 4—

6 км и более), приводит к интенсивному газообразованию. Данная зона названа главной зоной газообразования.

Таким образом, процесс нефтегазообразования рассматривается как функция достаточно глубокого прогибания земной коры и интенсивного прогрева горных пород. Только при погружении нефтематеринских пород на глубину 3—7 км и более они имеют возможность реализовать свой нефтематеринский потенциал. Иначе говоря, лишь мощные осадочные бассейны могут вмещать значительное количество крупных месторождений нефти и газа. Причем эти месторождения начнут формироваться лишь на том этапе существования бассейна, когда нефтематеринские породы, участвующие в его строении, достигнут главной зоны нефтеобразования.

Важный вывод современной теории нефтегазообразования заключается в признании того, что нефтегазообразование представляет собой историческое явление, зависящее не только от количества и качества органического вещества нефтематеринских пород, но и от динамики их погружения и интенсивности прогрева. Как показало изучение крупных нефтегазоносных осадочных бассейнов, содержащих большое количество месторождений нефти и газа, для них характерны мощность разреза не менее 5—10 км, скорость формирования свыше 80 м за 1 млн. лет и значения геотермического градиента более 3,5 °С на 100 м.

Отмеченные динамические обстановки — мощное и достаточно быстрое осадконакопление, интенсивный прогрев пород — присущи определенным тектоническим зонам земной коры, в первую очередь подводным окраинам континентов. Их можно рассматривать как своеобразные прогибы, возникшие в условиях дробления и растяжения земной коры [4]. Прогибы вдоль окраин континентов обычно образуют ветви тройного сочленения, две из них располагаются на границе континента с океаном, а третья уходит в сторону континента, раскалывая его. На ранних стадиях развития эти прогибы имеют рифтовую природу, на более поздних — могут трансформироваться в геосинклинали.

Согласно современным геотектоническим концепциям, формирование подобных прогибов обусловлено конвективным перемещением вещества в верхних частях мантии Земли, связанным с его подъемом. Образуются так называемые мантийные диапиры, воздействие которых на земную кору приводит к ее дроблению, разлому, раздвигу, утонению. В результате возникают глубокие линейно вытянутые рифтовые и геосинклинальные прогибы, в которых относительно быстро накапливаются отложения большой мощности, подвергающиеся интенсивному прогреву вследствие приближенного положения поверхности мантийного диапира, нагретого до температуры свыше 1200 °С.

Прогреву осадочной толщи способствует то обстоятельство, что за счет раздробленности земной коры, находящейся в условиях растяжения, возникают пути, по которым снизу вверх начинают перемещаться горячие флюидные потоки. Эти потоки, состоящие из струй паров воды, углекислого газа, водорода, гелия и метана, представляют собой как продукты дегазации вещества верхней мантии, так и газообразные продукты, генерируемые породами нижних слоев осадочной толщи, находящимися в главной зоне газообразования, и газами метаморфических пород.

Высоконагретые флюидные потоки выступают и как элементы тепломассопереноса, и как мощное средство извлечения «зрелых» нефтяных угле-

водородов из нефтематеринских пород, перемещения их в коллекторские горизонты и ловушки. Важная роль вертикально направленных флюидных потоков стала более очевидной после обнаружения в рифтовых зонах Мирового океана крупных выходов горячих (с температурой до 350 °С) струй воды, несущих водород, углекислый газ, метан, сульфиды и гидроокислы металлов.

Итак, можно считать законом, что в осадочных бассейнах нефтегазоносность определяется тем этапом их развития, когда соблюдаются три условия — погружение отложений в обстановке растяжения консолидированной коры, их значительная мощность и интенсивный прогрев восходящими газовойдами потоками. Именно к такой категории относятся осадочные бассейны континентальных окраин. Поэтому изучение закономерностей формирования, развития и строения континентальных окраин — необходимая предпосылка для выяснения условий нефтегазоносности и прогноза запасов нефти и газа в их пределах для общего развития теоретической нефтегазовой геологии. Эти условия варьируют в зависимости от типа подводной окраины, вследствие чего они должны быть рассмотрены отдельно для каждого из основных типов.

Существующие современные представления позволяют наметить пять типов континентальных окраин — не преобразованные современные пассивные, коллизионные (преобразованные пассивные, активные, трансформные пассивные и преобразованные активные). Эти типы находятся в тесной генетической связи между собой, сменяя друг друга во времени (рис. 1).

Современные (непреобразованные) пассивные окраины. Этот тип окраин иногда называемый атлантическим или гондванским, как известно, характерен для периферии Северного Ледовитого, Атлантического, Индийского и Южного океанов. Строение истории развития пассивных окраин континентов достаточно хорошо изучены детальными сейсмическими методами (особенно МОВ—ОГТ) и бурением (глубоководным и поисково-разведочным на нефть и газ). Формирование пассивных окраин начина-

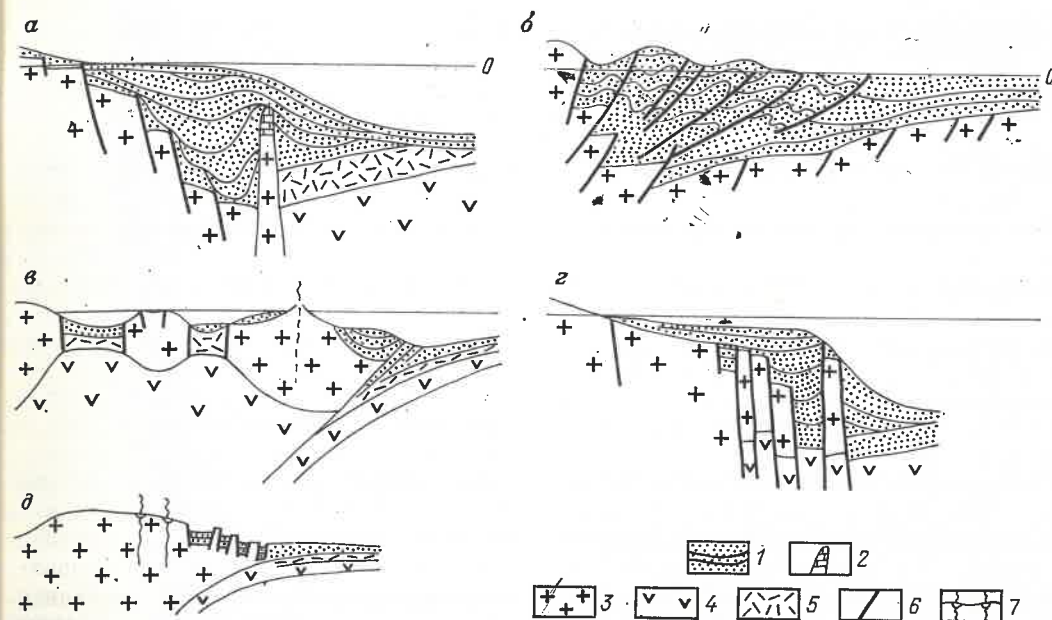


Рис. 1. Схема строения подводных окраин

Основные типы окраин: а — непреобразованная пассивная, б — преобразованная пассивная, в — активная, г — трансформная, д — преобразованная активная.

ная; 1 — осадочные породы; 2 — рифы; 3 — гранитогнейсовый слой; 4 — базальтовый слой; 5 — второй океанский слой; 6 — разрывные нарушения; 7 — вулканы

ся континентальным рифтогенезом, сопровождающимся накоплением терригенных осадков и проявлениями щелочнобазальтового, реже толеитового вулканизма. Растяжение достигает 20—40 км, кора утоняется до 25—30 км, тепловой поток значительно повышается. При этом в центральной части рифта континентальная кора испытывает значительные преобразования: она не только утоняется (в 2 раза и более), но и насыщается интродуцированным в виде даек основным магматическим материалом, превращаясь в кору так называемого переходного типа, для которой характерны сейсмические скорости v_p , промежуточные между скоростями продольных волн в верхних частях континентальной и океанской коры. Примером конечной стадии континентального рифтообразования служит район Афар в Северо-Восточной Африке, ныне детально изученный международными экспедициями. Ширина полосы переходной коры не превышает здесь 200 км, но может достигать и 300 км.

При утонении континентальной коры в 1,5—2 раза неизбежно наступает ее разрыв и, стало быть, рифтинг сменяется спредингом. Как показано

на примере Атлантики, с этим переходом совпадает на будущих континентальных окраинах вспышка толеит-базальтового вулканизма, создающая на периферии континентов обширные трапповые поля. Таковы позднетриасовые — раннеюрские траппы американского и африканского побережий Центральной Атлантики, африканского и антарктического побережий Индийского и Южного океанов, раннемеловые траппы по обе стороны Южной Атлантики и Западной Бенгалии, позднемеловые — раннепалеогеновые траппы Индостана и Мадагаскара. Аналогичную природу имеют и трапповые излияния на Сибирской платформе, связанные с раннетриасовой океанизацией территории современной Западной Сибири, не получившей дальнейшего развития.

Начальной стадией спрединга является образование межконтинентального рифта типа Красного моря или Калифорнийского залива. Тепловой поток достигает здесь максимума, о чем свидетельствует наличие подводных высокотемпературных гидротерм, подобных установленным на дне Калифорнийского залива или в Красном море, где придонная температура до-

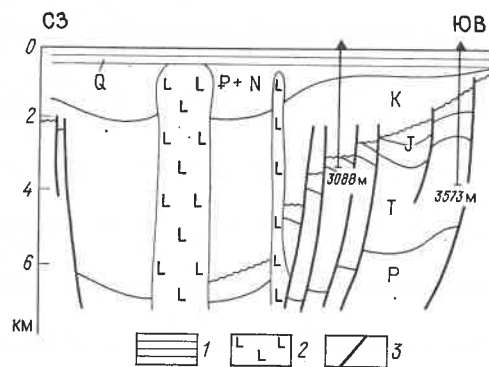


Рис. 2. Схематический разрез бассейна Норвежского моря в районе Тромса [5]
1 — осадочная толща; 2 — соль; 3 — разлом

зонах нефтегазонакопления, где они приурочены к отложениям юры и мела. Характерная особенность этого бассейна — усиление его газонасности к северу, в сторону большей сложности фундамента рифтовыми прогибами.

Крупные открытия в нефтегазоносном бассейне Мексиканского залива сосредоточены преимущественно в трех областях, которые В. А. Левченко [1] рассматривает в качестве самостоятельных бассейнов. Это моноклинали Галф-Кост, охватывающая север Мексиканского залива у берегов США, впадины Тампико-Тукспан и Предъюкатанская, занимающие юго-западную и южную части Мексикан-

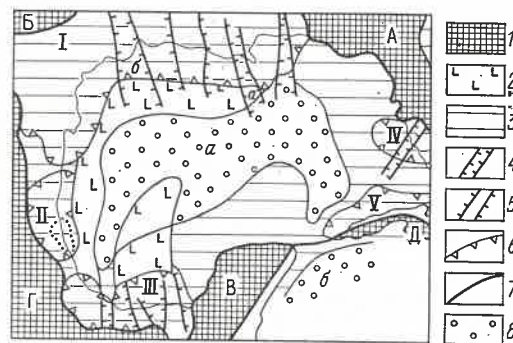


Рис. 3. Схема строения бассейна Мексиканского залива, по В. А. Левченко [1] с упрощением
1 — обременение бассейна (платформенные выступы: А — Флорида, Б — Льяно, В — Юкатан; складчатые горы: Г — Мексиканские Кордильеры, Д — Кубинские); 2 — область проявления соляной тектоники; 3 — погруженная часть континента; 4 — рифты (а — Миссисипи, б — Галвестон); 5 — горсты; 6 — граница нефтегазоносных областей: I — Галф-Кост, II — Тампико-Тукспан, III — Южно-Мексиканской, IV — Флоридской, V — Северо-Кубинской; 7 — граница бассейна; 8 — субокеанская впадина: а — Сиксби, б — Юкатан

ского залива у берегов Мексики (рис. 3).

В бассейне Мексиканского залива сочетание всех благоприятных факторов нефтегазообразования (наличие многокилометровой толщи осадочных пород, рифтовых прогибов и дельтовых выносов) и нефтегазонакопления (развитие солянокупольной и горстовой тектоники, рифтовых сооружений) предопределило значительную нефтегазоносность. На севере этого бассейна открыто 125 нефтяных и 408 газовых месторождений. Продуктивны песчаники плейстоцена, плиоцена миоцена, связанные с выносами рифта. Месторождения многопластовые солянокупольного типа. Наибольшая концентрация отмечена в рифтовых зонах Миссисипи, Мобил—Алабама, возможно, Рио-Гранде, занятых долинами и дельтами одноименных рек. Месторождения располагаются в плоскости шельфа шириной 200 км при глубине до 357 м (Пласид). Нефтяные залежи обнаружены на глубинах до 4,5 км, а газовые — на глубинах до 6,25 км.

Во впадине Тампико-Тукспан, охватывающей как шельф, так и прибрежную зону, открыто 18 месторождений нефти и газа. Одни из них приурочены к кольцевой цепочке меловых рифтов Золотого пояса, другие — к антиклинальным складкам облекания горстовых выступов фундамента. К последним относится нефтяное месторождение Аренке, запасы которого сосредоточены в оолитовых известняках песчаниках верхней юры на глубинах до 3,4 км.

Около 60 месторождений обнаружено в Предъюкатанской впадине, расположенной над рифтовой структурой меридионального простирания. Продуктивны меловые и палеогеновые карбонатные породы, развитые в пределах месторождений горстового приразломного типов.

К категории периконтинентальных относится большая группа бассейнов, размещающихся в орографии в основном Атлантического и Индийского океанов. Широко распространены эти бассейны на западной и восточной пассивных окраинах Атлантического океана. Все они в той или иной мере связаны с рифтовыми

прогибами, заполненными отложениями главным образом верхней части мезозоя, палеогена и неогена. Значительно проявлена солянокупольная тектоника, характерная для апт-альбской эвапоритовой толщи.

Вдоль атлантического побережья Канады и США протягивается система крупных нефтегазоносных бассейнов — Лабрадорский, Новошотландский, Восточно-Канадский и Блэйк. Наиболее интересные открытия сделаны в Лабрадорском бассейне, где сосредоточен целый ряд газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождений. Самое крупное из них — нефтяное месторождение Хиберния, находящееся на самом юге бассейна у Большой Ньюфаундлендской банки в 310 км от берега на глубине 92 м (рис. 4). Месторождение солянокупольного типа. Нефтеносны песчаники мела и верхней юры мощностью до 80 м, залегающие на глубинах от 2,2 до 4,5 км. Западнее Хиберния открыты еще три нефтяных месторождения, а северо-западнее, в Лабрадорском море, — пять с залежами нефти, газа и газоконденсата в доломитах карбона, песчаниках нижнего мела и палеогена.

В Новошотландском бассейне, помимо газоконденсатного месторождения Сейбл, обнаружен еще ряд месторождений солянокупольного типа. В них залежи газа, газоконденсата и нефти приурочены к песчаникам преимущественно мелового возраста.

Нефтегазоносные бассейны рифтового типа выделяются вдоль атлантического побережья Бразилии, Аргентины и Чили. В них открыто 55 нефтяных и газовых месторождений.

У северо-восточных берегов Бразилии имеется несколько небольших грабеновых впадин, нижняя часть разреза которых сложена породами мела, а верхняя — кайнозоя, представляющими собой дельтовые образования р. Амазонки. Здесь за последнее время обнаружены небольшие залежи газа и нефти (11 месторождений) на глубинах 1,7—3 км.

Основные нефтяные районы Бразилии находятся южнее. Это бассейны Сержипи-Алагоаш (9 месторождений), Баия (4 месторождения), Эспириту-Санту—Кампуш (16 месторождений).

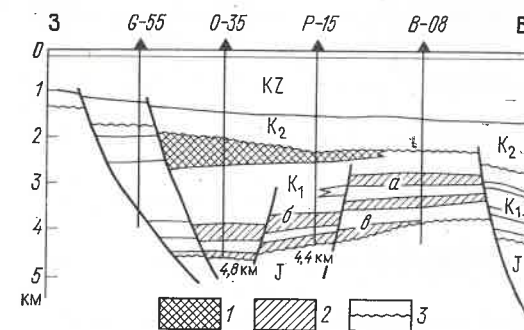


Рис. 4. Разрез месторождения Хиберния, по Р. М. Мак-Кензи [6] с упрощением
1 — нефтяная залежь в песчаниках авалон; 2 — газоконденсатные залежи в песчаниках: а — Каталина, б — Хиберния, в — Жанна-де-Арк; 3 — несогласие

Продуктивны главным образом песчаники мела и палеогена на месторождениях соляных куполов в интервале глубин 1—3 км. Общее количество морских месторождений Бразилии составляет 43 нефтяных и 2 газовых.

Промышленная нефтегазоносность установлена в аргентинском бассейне Сан-Хорхе, где открыто 73 месторождения, из которых 3 морские. Залежи находятся в отложениях юры, верхнего мела и палеогена. В Магеллановом бассейне Аргентины и Чили открыто около 100 месторождений, из которых 9 морские и принадлежат Чили. Продуктивны отложения юры, мела, а также палеогена и миоцена.

Крупными ресурсами углеводородов обладает атлантическая окраина Африки. Нефтегазоносные бассейны здесь группируются вдоль юго-восточного побережья Гвинейского залива (Нигерийский и Кванза-Камерунский). Нигерийский бассейн расположен в дельте р. Нигера в зоне тройного сочленения рифтов, из которых две ветви протягиваются вдоль побережья, а третья (трог Бенуэ) уходит в глубь континента. Осадочный разрез представлен дельтовыми образованиями кайнозоя мощностью до 7—8 км и отложениями мезозоя (2—5 км). Устанавливается до 50 продуктивных песчаных горизонтов в дельтовом комплексе неогена и палеогена.

На шельфе открыто более 60 месторождений нефти и газа. В Кванза-Камерунском бассейне месторождения нефти (93) и газа (18) выявлены на

шельфе Камеруна, Габона, Конго, Кабинды, Заира и Анголы. Все они солянокупольного типа и залегают преимущественно в меловых песчаниках. Всего в бассейнах Гвинейского залива открыто более 200 месторождений. Потенциальные нефтегазоносные бассейны выделяются к северу (Западно-Африканский и Марокканский) и югу (Капский) от бассейнов Гвинейского залива. Мощность их разреза более 5 км, сложены они породами мела, палеогена и неогена.

Северная окраина Африканского континента, сопряженная со Средиземным морем, также представляет собой крупный нефтегазоносный пояс. В его пределах располагаются Тунисско-Сицилийский, Ливийский и Нижненильский бассейны — крупные прогибы, открывающиеся в Средиземное море. В Тунисско-Сицилийском бассейне как на суше, так и в море обнаружено 21 нефтяное и 7 газовых месторождений антиклинального типа (Тунис, Ливия и Сицилия). Продуктивны отложения триаса, мела, палеогена и неогена.

В Ливийском бассейне открыто более 70 месторождений, три из них находятся в заливе Сидра, который приурочен к крупному рифту, рассекающему Африканскую платформу. Среди нефтяных месторождений имеются такие, как Зелтен. Продуктивны отложения мела и палеогена на глубинах 1,5—2,5 км. Целый ряд газовых и нефтяных месторождений открыт в дельте р. Нила в песчаниках плиоцена и миоцена.

По мере расширения поисково-разведочных работ нефтегазоносность во все возрастающих объемах устанавливается на пассивных окраинах континентов, обрамляющих Индийский океан. Наиболее крупные открытия сделаны в Камбейско-Бомбейском бассейне, образовавшемся в результате сочленения Камбейского грабена с прогибами, вытянутыми вдоль западного побережья Индии. В этом бассейне открыто около 25 месторождений, половина из которых располагается в море. Наиболее крупное месторождение — Бомбей-Хай. Продуктивны отложения миоцена, олигоцена и эоцена.

Система бассейнов развита по западной и северной периферии Австралии в отложениях палеозоя, триас-юры, мела, палеогена и неогена мощностью более 5—8 км. Нижний структурный этаж имеет рифтовое строение, верхний — чехольное. В указанных бассейнах открыто более 20 нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений горстового и рифтового типов. Продуктивны отложения триаса, юры, мела.

К категории периконтинентальных следует отнести несколько бассейнов на арктическом шельфе Америки. Крупные открытия сделаны в Северном Аляскинском бассейне, где известно 16 месторождений. Наиболее значительные из них — Прадхо-Бэй и Куперук-Ривер. Основные запасы сосредоточены в песчаниках триаса, юры и мела.

Восточнее располагается бассейн Маккензи-Бофорта, сложенный 12-километровой толщей палеозоя—неогена. В 25 нефтяных и газовых месторождениях продуктивны отложения мела и палеогена.

Уместно отметить, что пассивная окраина Антарктиды, являющаяся прямым аналогом других подобных структур [3]. Такие перспективы установлены, например, сейсмондированием методом МОВ—ОГТ в Аппалачах, также, по всей видимости, и на южном борту бассейна Ана-обладеет заметными запасами нефти и газа [2]. Особый интерес представляют бассейны Уэдделла и Росса, где углеводородов, то ими могут быть поисковые работы уже начаты.

Преобразованные (коллизионные) пассивные окраины. К данному типу относятся многие важнейшие нефтегазоносные бассейны мира — Персидского залива, Волго-Уральский, Западно-Канадский, Предаппалачско-Предуральский, Предкавказские и др. Этой платформы и т. д. Кроме платформенных отложений подобного типа, на которые в результате геосинклинального развития оказались нахлещены островные дуги, микроконтиненты, даже континенты, находящиеся по другую сторону океанского материнских пород и их миграции бассейна. Перед фронтом надвигающихся масс, образующих вследствие сжатия (коллизии) и последующего изостатического выравнивания покровно-складчатые горные сооружения передовых прогибов, типа майкопской серии Кавказа, нижнепермских накладывающиеся на проксимальные

(внутренние) части континентальных окраин — зоны перикратонных опусканий. Опускание этих прогибов ускоряется под действием нагрузки не только выполняющих их осадков, но и надвигающихся шарьяжей. Платформенные крылья передовых прогибов осложняются листрическими сбросами и пологими складками (например, внешний борт Предкарпатского прогиба), на внутренних бортах прогибов сбросы преобразуются в надвиги.

Покровно-надвиговая структура вообще весьма характерна для этого типа окраин. Пологие надвиги создают благоприятные условия для сохранения залежей нефти в перекрытых ими ловушках. Такие залежи давно известны в Карпатах и предгорьях Скалистых гор Канады, но только новейшие открытия их на продолжении надвигового пояса Скалистых гор в США заставили обратить серьезное

внимание на перспективы нефтегазоносности внешних зон покровно-складчатых сооружений. При этом большой интерес может представлять продолжение слабодислоцированного и неметаморфизованного осадочного чехла под шарьированным геосинклинальным, включая метаморфический, комплексом [3]. Такие перспективы установлены, например, сейсмондированием методом МОВ—ОГТ в Аппалачах, также, по всей видимости, и на южном борту бассейна Ана-

Что касается источника нефтяных углеводородов, то ими могут быть те же черносланцевые толщи, накопившиеся на стадии раскрытия смежного океанского (геосинклинального) бассейна типа волго-уральского домозонного бассейна, черных «сланцев» палеозоя наго залива, Волго-Уральский, Западно-Канадский, Предаппалачско-Предуральский, Предкавказские и др. Этой платформы и т. д. Кроме платформенных отложений подобного типа, на которые в результате геосинклинального развития оказались нахлещены островные дуги, микроконтиненты, даже континенты, находящиеся по другую сторону океанского материнских пород и их миграции бассейна. Перед фронтом надвигающихся масс, образующих вследствие сжатия (коллизии) и последующего изостатического выравнивания покровно-складчатые горные сооружения передовых прогибов, типа майкопской серии Кавказа, нижнепермских накладывающиеся на проксимальные

осадков Западного Техаса, пенсильванских отложений бассейна Аркома и т. д.

Угленосные толщи — базальные, образовавшиеся в периоды эвстатических понижений уровня океана (типа угленосного карбона Волго-Уральской области) или отложенные в передовых прогибах (карбон «угольного канала» Западной Европы), — могут служить важным источником углеводородных газов. Растущая изоляция передовых прогибов (например, Предуральского и Предкарпатского) и связанных с ними краевых платформенных впадин типа Прикаспийской или Западно-Техасской синеклиз приводит в аридном климате к накоплению соленосных формаций. Они слагают верхний ярус по отношению к эвапоритам фазы рифтогенеза пассивных окраин. Соленосные формации оказываются моложе нефтегазоматеринских и служат экраном для нефтегазовых залежей, располагающихся в «подсолевых» отложениях. Важное значение для аккумуляции углеводородов имеют барьерные рифовые постройки по периферии передовых прогибов и синеклиз. Это более молодая генерация рифов по сравнению с рифами, возникающими в поздний период формирования пассивной окраины континента на стадии спрединга.

Крупнейшим по запасам нефти и газа бассейном мира является бассейн Персидского залива, расположенный на сочленении древней Аравийской платформы и надвинутого на нее альпийского горно-складчатого сооружения Загроса. Бассейн содержит 40 % начальных доказанных запасов мира (без социалистических стран), концентрирующихся во многих месторождениях. Зоны нефтегазоаккумуляции на платформенном борту бассейна располагаются вдоль субмеридиональных разломов, ориентированных поперечно к оси прогибания бассейна и зонам складчатого борта.

Как уже указывалось, одна из важных особенностей нефтегазоносности бассейнов коллизионного типа заключается в наличии зон нефтегазоаккумуляции, связанных с покровно-надвиговыми структурами складчатого борта. Такие зоны располагаются в передовых складках Загроса (Иран и Ирак),

в Карпатах (на территории СССР и Румынии). Сравнительно недавно крупные открытия были сделаны в поясе надвигов Скалистых гор. Этот пояс пересекает всю территорию США, уходя в Канаду и Мексику. В его пределах уже обнаружено около 20 месторождений.

Нефтегазоносность бассейнов преобразованных пассивных окраин хорошо известна. Следует только отметить, что необходим более глубокий анализ истории формирования этих окраин с учетом покровно-надвиговой структуры складчатого борта бассейнов.

Активные (тихоокеанские) окраины. Наибольший интерес представляют сложные активные окраины, включающие пассивные участки на периферии континента, окраинные моря, островные дуги с тыльно-дуговыми и преддуговыми прогибами и глубокоководные желоба. Картину нередко еще более усложняет развитие дополнительных дуг — невулканических и отмерших вулканических — и междугубов (внутридуговых) прогибов. Перечисленные типы прогибов представляют собой важные зоны аккумуляции и генерации углеводородов в пределах активной окраины континентов. Генерация, по мнению ряда исследователей, стимулируется наличием высокого теплового потока в висячих крыльях зон Вадати — Заварицкого — Беньюфа. К этим прогибам приурочены бассейны, широко распространенные по периферии Тихого океана, — Восточно-Сахалинский, залива Кука на Аляске, прибрежный Эквадорский, Палаванский. К ним относятся, помимо Восточно-Сахалинского, другие перспективные бассейны советского Дальнего Востока — Камчатки, Корякии, Чукотки.

К данному типу принадлежат также бассейны Индонезии — Суматры, Яванского моря и др. Поскольку более древние отложения сложно дислоцированы с образованием чешуйчатонадвиговой структуры аккреционных клиньев, нефтегазоносными оказываются в основном лишь кайнозойские, отчасти верхнемеловые осадки моласового типа. Обращает на себя внимание существенная доля среди нефтематеринских пород толщ диатомо-

вых сланцев. Для зон нефтегазоаккумуляции характерно развитие брахиантиклинальных складок, осложненных сбросами и нередко связанных с перемещениями по крупным сдвигам. Изучение бассейнов активных окраин континентов показало, что количественно и качественно их нефтегазоносность находится в прямой зависимости от мощности (зрелости) осадочного и Карибского морей, а также тихоокеанское побережье Южной Америки и средиземноморское Южной Европы. В первом регионе важным бассейном является залив Кука, где открыто около 20 месторождений на суше и в море, их залежи приурочены к песчаникам палеогена. В Карибском регионе насчитывается до 10 нефтегазовых бассейнов. Среди них выделяется гигантский бассейн — Маракаибский (34 месторождения), в котором продуктивны отложения верхнего мела, палеогена, олигоцена и миоцена. Другие бассейны указанного региона располагаются у побережий Колумбии, Венесуэлы и Гвианы, где запасы нефти и газа сосредоточены в миоценовых песчаниках.

В основании целого ряда крупных нефтегазоносных бассейнов, находящихся в тылу островных дуг, устанавливаются рифтовые зоны и краевые прогибы с максимальными мощностями разреза — до 8—10 км. Такие прогибы выявлены в Сиамском, Северо-Калимантанском, Северо-Яванском, Восточно-Калимантанском и ряде других бассейнов. Формирование последних происходило в значительной степени за счет дельтовых отложений олигоцена, миоценового и более молодого возраста, а также рифогенных толщ. Основные нефтегазоносные горизонты — песчаники и рифогенные известняки миоцена.

Северная часть Австрало-Азиатского окраинного пояса включает складчатые островные сооружения Тайваня, Японских островов, Сахалина, Камчатки и Чукотки. Здесь располагаются несколько десятков бассейнов, разломы которых представлены отложениями главным образом палеогена и неогена. Большинство таких месторождений открыто на Сахалине, в Японии и на Тайване.

Южная ветвь пояса составляет западное обрамление Тихого океана. В ее пределах выделяется более 10 бассейнов, занимающих депрессии

ные продолжением океанских трансформных разломов. Типичные примеры — северная окраина Гвинейского залива, вдоль которой протягивается система экваториальных разломов Восточной Атлантики, а также юго-восточная окраина Южной Африки, как бы «подрезанная» продолжением Фолклендско-Агульясского разлома. Вероятно, такой же характер присущ восточной подводной окраине Гренландского моря, ограниченной Шпицбергенским разломом, и, возможно, некоторым другим окраинам. По своей характеристике пассивные окраины данного типа близки к «нормальным» пассивным окраинам, но более узкие, и, следовательно, в общем менее перспективны. В их строении большую роль играют вертикальные разломы, осложняющие не только низы осадочного чехла, но и весь разрез.

Пока лишь в пределах Северо-Гвинейской окраины открыты небольшие залежи нефти. Здесь на шельфе Ганы, Берега Слоновой Кости и Бенина обнаружены восемь нефтяных и нефтегазовых месторождений, входящих в состав Абиджанского бассейна, который на юге ограничен субширотным трансформным разломом Романш. Нефтеносны песчаники и известняки альба и турона на глубине 2—3,3 км. Дебиты скважин составляли 105—660 т/сут. Притоки нефти получены также из песчаников девона. Однако вместе с окраинами пассивного (современного и ископаемого) типа трансформные окраины могут оказаться благоприятными для возникновения нефтегазоносных бассейнов, что следует иметь в виду при анализе строения различных нефтегазоносных территорий.

Преобразованные активные окраины. Речь идет об окраинах, относительно недавно (в неогене) утративших свою активность вследствие погружения в процессе субдукции оси спрединга и срединного хребта под континент. К этой категории окраин (колумбийский тип, по В. В. Белоусову) относятся: подводная окраина Калифорнии и тихоокеанская Антарктического материка. Интересны с точки зрения нефтегазоносности таких окраин, наложенные грабен-прогибы рифтогенного или присдвигового типа.

Трансформные пассивные окраины. К ним относятся окраины, ограничен-

Эти грабен-прогибы выполнены молодыми, в основном неогеновыми отложениями молассового типа, достигающими в отдельных из них весьма значительной мощности. Несмотря на ограниченные размеры, бассейны Калифорнии обладают, как известно, довольно большими ресурсами углеводородов (бассейны Лос-Анджелес, Санта-Барбара, Грейт-Велли и др.).

В Калифорнии и на смежном шельфе расположено около 10 бассейнов, в которых уже открыто 300 нефтяных и газовых месторождений. Бассейны грабенового (рифтового) типа сложены терригенными породами неогена и палеогена мощностью более 10 км. В бассейне Лос-Анджелес открыто 12 прибрежно-морских месторождений, а в бассейнах Вентура и Санта-Барбара — 17 морских и 8 прибрежно-морских нефтяных месторождений. Значительное морское нефтяное месторождение Пойнт-Арджелио с начальным дебитом 480 м³/сут обнаружено в бассейне Санта-Мария. Во всех этих бассейнах наиболее нефтеносны кремнистые аргиллиты миоцена (свита монтерей) — литологические аналоги баженовской свиты Западной Сибири.

УДК 553.98.061.33

В. Д. НАЛИВКИН, И. С. ГОЛЬДБЕРГ, Н. М. КРУГЛИКОВ,
В. С. ЛАЗАРЕВ, Р. С. САХИБГАРЕЕВ, Г. П. СВЕРЧКОВ,
С. Н. СИМАКОВ (ВНИГРИ)

Процессы разрушения залежей нефти и газа и оценка потерь углеводородов

Условия консервации скоплений нефти и газа имеют первостепенное практическое значение, поскольку без надежного экранирования невозможно длительное сохранение сформировавшихся залежей. Знание условий сохранности необходимо при прогнозировании нефтегазоносности. В настоящей работе дан анализ лишь части этого сложного и многопланового вопроса. Рассмотрены условия сохранности уже сформировавшихся залежей нефти и газа. Потери нефти и газа при первичной миграции и до формирования первичных залежей определяются иным, более узким и специфическим кругом причин.

Причины разрушения залежей нефти и газа разнообразны и многочисленны. Разнообразны и происходящие при этом процессы; характер их определяется геологическими, гидрогеологи-

Таким образом, современные и древние подводные окраины континента представляют важнейшим объектом исследований геологов-нефтяников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левченко В. А. Нефтегазоносные акватории капиталистических и развивающихся стран. Обзор. Сер. Морская геология и геофизика. М., ВИАМС, 1983.
2. Нефтегазоносность морей и океанов/Б. Соколов, А. Г. Гайнанов, Д. В. Несмеянов и др. М., Недра, 1973.
3. Соколов Б. А., Хаин В. Е. Нефтегазоносность надвиговых окраин складчатых горных сооружений. — Сов. геология, 1982, № 5, с. 53—58.
4. Хаин В. Е., Соколов Б. А., Кац Я. Г. Особенности сочленения континентальных платформ с океаническими и концепция «тектоник плит». — Изв. вузов. Сер. Геология и разведка, 1973, № 10, с. 3—14.
5. Bjoroy M., Bue B., Elvsborg A. Organic Geochemistry of the First Two Wells in the Troms 1 Area (Barents Sea). — In: Advances in Organic Geochemistry, 1981. Нью-Йорк: Wiley, 1983, p. 16—27.
6. Mc Kenzie R. M. The Hibernia a class structure. — Oil and Gas J., 1981, v. 58, N 38, p. 240—246.

ческими и термобарическими факторами. Рассмотрим основные из них.

1. Вертикальное вытекание нефти и газа ловушки вследствие недостаточной изначальной герметичности покровы или ее позднейшей нарушенности в результате кататектических преобразований и воздействия тектонических напряжений. При этом возможны следующие формы разрушения.

1. Высачивание на дневную поверхность вследствие исчезновения газа и большей части нефти вместе с размывающимися породами, которые она пропитала. Эти формы разрушения характерны для районов с активной дивергентной тектоникой, в разрезе которых фиксируются неоднократные размывы. Определенные потери в подобных условиях мы пока не знаем. Наиболее эффективен этот механизм

наличия гидродинамической связи с законтурированной областью в залежах газовых, газоконденсатных и нефтяных, не содержащей высших парафинов и асфальтеномолотых компонентов. При наличии последних пути движения будут функционировать лишь до закупорки ими трещин, и для возобновления процесса потребуется восстановление их проводимости или новообразование. Признаком такого восстановления могут служить трещины разных генераций, заполненные битумом различной консистенции. На возможность подобного разрушения залежей косвенно указывают число и глубина размывов, фиксируемых в разрезах.

Крупные размывы, от древних до современных, сопровождаются разрушением нефтяных залежей и образованием на их месте скоплений различных по составу битумов. Мощность зон битумонакопления и степень преобразования битумов при прочих равных условиях будут тем больше, чем длительнее возмущение и чем значительнее глубина размывов. Наличие погребенных залежей битумов, связанных с зонами региональных размывов, — одно из проявлений этого процесса в прошедшие времена. Такие залежи наиболее характерны для крупных палеоподнятий в пределах бассейнов древних платформ, например, залежи битумов, связанные с предкунгурским, предтриасовым и предсреднеюрским перерывами в Тимано-Печорской НПП, предтриасовым перерывом в ДДВ, предкаменноугольным перерывом на ряде месторождений Северо-Американской платформы и др.

Разрушение залежей нефти связано также с развитием зон инфильтрации пресных кислородсодержащих вод как по латерали из областей поверхностных выходов пород, так и по вертикали при наличии глубоких эрозийных врезов.

Наибольшими потерями нефти, связанными с рассматриваемым процессом, характеризуется ряд бассейнов мезозойско-кайнозойских краевых и предгорных прогибов (Западно-Канадский, Восточно-Венесуэльский, Лено-Анабарский и др.) и древних платформ (Восточно-Сибирская, Волго-Уральская, Тимано-Печорская и др., табл. 1).

Особые условия разрушения нефти и газа возникают при большой интенсивности генерации УВ и недостаточной емкости ловушек на путях их миграции. В соответствии с законами струйной миграции перемещение УВ продолжается до тупиковой, по В. П. Савченко, ловушки. Но при большом объеме нефти и газа миграция может достигать зоны гипергенеза. Попав туда, газ рассеивается, наиболее легкие компоненты нефти теряются, а сама она биогенно деградирует. Наиболее существенные потери возникают при больших и очень больших объемах УВ и недостаточной емкости ловушек на путях перемещения, когда они мигрируют непосредственно из зон первичной аккумуляции в зону гипергенеза. Последнее, по-видимому, имело место в Западной Канаде, бассейне Оринокко и других районах крупных скоплений битумов и тяжелых нефтей на моноклиналях.

Количество разрушаемой нефти в подобных условиях огромно и в отдельных скоплениях составляет десятки, а в целом по ряду про-

винций — сотни миллиардов тонн. По существу, это уникальные явления в планетарном масштабе и возможности их прогнозирования ограничены. Не во всех деталях ясен и механизм окисления столь больших объемов нефти.

Следует подчеркнуть, что в данном случае имеется в виду разрушение именно нефти как таковой. По количеству и составу продуктов разрушения нефти мы можем оценить ее первоначальные количества. Но в определенных условиях продукты разрушения (битум, мала и т. п.), широко развитые в указанных регионах, могут иметь самостоятельное экономическое значение. Термин «потери» в такой обстановке теряет, очевидно, практический смысл, но остается важным в теоретическом отношении.

2. Высачивание нефти и газа из залежей, полностью потерявших связь с законтурными водами вследствие минералогического экранирования или катагенеза пород. Подобные залежи не могут быть разрушены полностью. Потери за счет вертикальной миграции определяются давлением в вышележащем горизонте-коллекторе. Давление в таких залежах может быть ниже нормального гидростатического.

3. Рассеивание нефти и газа по разрезу без выхода на поверхность земли по порам, трещинам и кавернам с образованием мелких скоплений. Этот процесс происходит главным образом в тех случаях, когда разрез слабо дифференцирован на коллекторы и покровы. Судить о степени его проявления можно по количеству мелких нефте- и газопровывлений, отмечаемых при бурении и в кернах. В верхней, гипергенной части разреза этот процесс сопровождается потерей легких фракций нефти, ее утяжелением, осмолением и превращением в битумы различной консистенции.

II. Грязевой вулканизм с выходом газа на дневную поверхность отражает пульсационный механизм вертикальной утечки газа, происходящей в больших объемах и со значительной скоростью. Связь корней грязевых вулканов с газовыми залежами строго не доказана, но она, по-видимому, имеется. Связь же их с зонами АВПД более обоснована [7, 12, 17, 18, 19]. Поэтому можно считать, что грязевые вулканы характеризуют вертикальную миграцию газа из зон АВПД в специфических геологических условиях, когда в разрезе имеются мощные толщи недоуплотненных глинистых пород, способствующих образованию сопочной грязи (глинистого раствора). Последняя благодаря высокому давлению прочно кольматирует в жерле вулкана все проникаемые горизонты и тем самым способствует сосредоточенному выходу газа на поверхность Земли без его существенных потерь по пути движения. При отсутствии в разрезе пластичных глинистых пород вертикальный прорыв газа из залежей с АВПД должен сопровождаться рассредоточением его по вышележащим проницаемым горизонтам и формированием в них самостоятельных вторичных залежей. Подобное явление наблюдается в разрезе нижнемеловых отложений ряда месторождений севера Западной Сибири.

Оценка потерь газа при грязевулканической деятельности возможна для отдельных извер-

Потери нефти при битумообразовании в некоторых нефтегазоносных бассейнах мира

Нефтегазоносный бассейн	Тектонотип	Региональные зоны и пояса битумообразования и крупнейшие скопления битумов	Возраст битумоносных отложений	Преобладающие типы битумов (классы) битумов	Предполагаемый возраст нефтяных скоплений	Основные этапы разрушения залежей и образования битумов	Коэффициент потерь нефти
Западно-Канадский	Передовой прогиб	Канадский асфальтовый пояс (Атабаска, Вабаска, Пис-Ривер, Колдлейк) Поле Трайэнгл	K ₁	Мальта, высокосмолистая нефть	K ₂ -P ₃	K ₂ -Q	0,95
Восточно-Венесуэльский	Краевой прогиб	Пояс Ориноко (Горрин-Мачете, Герро-Негро, Зуата, Хобо, Санга-Клара)	K ₁ -N ₁	Мальта	N ₂ -Q	N ₂ -Q	0,90
Лено-Анабарский	Краевой прогиб	Оленекское	P	Мальта, асфальт	K ₂	K ₂ -Q	0,65
Юинта-Пайсенс	Эпилафформенная межгорная впадина	Кировый треугольник (Гар-Сэнд-Триангл, Пеор-Спринг, Саннисайд)	P-T P ₂	Мальта, асфальт	MZ ₂ , P ₃ -N	N-Q	0,60-0,70
Восточно-Сибирский	Древняя платформа	Центральноанбарская, Оленекско-Удвинская, Лено-Анабарская	V-Є ₁ Є ₂ -Є ₃	Асфальт, асфальтит	Є ₂ -Є ₃ Є ₃ -S	PZ ₂₋₃ MZ-KZ	0,45-0,50
Волго-Уральский	Древняя платформа	Южно-Татарско-Мелекеская, Мало-Кинельская, Жигулевская	C ₃ -P ₂	Мальта, высокосмолистая нефть, асфальтит	P, T ₁	N-Q	0,35-0,40
Тимано-Печорский	Древняя платформа и краевой прогиб	Варандей-Адзвинская, Среднепечорская, Ижма-Омринская	S-P ₂ (C ₁)	Асфальт, асфальтит	C ₃ -P ₁ , P ₂ MZ ₁	P ₁ -P ₂ T-J ₁	0,25-0,30
Прикаспийский (по надсолевому комплексу)	Краевая синеклиза	Центральноэмбинская	J ₂ -K ₂	Мальта	K ₂ , P	N ₂ -Q	0,10
Южно-Мангыш-лакский	Молодая платформа	Беке-Башкудукская, Тоб-Караганская	J ₂ -K ₂	Мальта	K ₂ , P-N	P-Q	0,10
Южно-Каспийский	Эпигеосинклинальные	Апшерон-Нижнекуринская, Приобитовская, Приобитовская	J ₃ -Q	Мальта, высокосмолистая нефть, озокерит	N	N ₂ -Q	0,10

жений, однако экстраполяция этих данных в прошлое весьма рискованна.

III. Оттеснение нефти в ловушке или вытеснение ее из ловушки через замок газом, вытеснившимся из нефти или мигрировавшим из других источников. Этот процесс максимален в тех случаях, когда нижележащие материнские толщи попадают в главную зону газогенерации и имеются условия для вертикальной миграции больших объемов газа и внедрения его в нефтеносные ловушки. Вертикальное перемещение газа может достигать нескольких километров. Наиболее благоприятными геологическими и геохимическими предпосылками такого разрушения нефтяных залежей являются: 1) большая мощность осадочного чехла НГБ, создающая условия для проявления ГФГ; 2) количество и состав РОВ, обеспечивающего генерацию и вертикальную миграцию больших объемов газа; 3) достаточная для возникновения вертикальной струйной миграции газа проницаемость разреза, т. е. отсутствие в нем мощных толщ пластичных глин и солей; 4) унаследованность в плане размещения залежей нефти (вверху и газу (внизу) в различных нефтегазоносных комплексах*, определяемая, в свою очередь, унаследованностью структурного плана ловушек в нижней продуктивной части разреза осадочного чехла, включая промежуточный структурный этаж, а также преимущественным формированием газовых залежей в нижних горизонтах разреза (в ГЗГ) именно в тех ловушках, из которых нефть, заполнявшая их в ГЗН, мигрировала в вышележащие отложения. В таких ловушках благодаря консервирующему влиянию остаточной нефтенасыщенности на поздних стадиях катагенеза сохранялись относительно хорошие коллекторы, в которые и вынужден был поступать газ. В подобной обстановке из-за замкнутости проницаемых зон создавались благоприятные условия для формирования АВПД, что также способствовало вертикальной миграции газа.

При одинаковой массе газ в пластовых докритических условиях всегда занимает больший объем, чем нефть. Даже при давлении 10-50 МПа газ имеет плотность в 2-3 раза меньшую, чем нефть. Это обстоятельство создает благоприятные предпосылки для оттеснения нефти газом из ловушек, ранее ею занятых, и размазывания ее по породам. Так, по данным С. Г. Неручева (1975 г.), масса генерированных ОВ газообразных УВ на стадиях МК₃(Ж)-МК₄(К), т. е. в условиях ГФГ, в 7 раз превышает массу жидких УВ. В этих же условиях их объем больше объема жидких УВ в 10-20 раз. При подобных соотношениях, учитывая, что один объем газа в пластовых условиях может размазывать 0,25-1 объема нефти, можно сделать вывод о весьма небольших шансах нефти, сохранившейся в коллекторах после ГФН, «выжить» в условиях ГФГ. К тому же нужно учесть, что часть ее обязательно перейдет в газоконденсатное состояние. В особых условиях находятся районы, где разрезе проявляется глубинная (по М. Прасолову, 1983 г.) зона газообразова-

ния. Возможность сохранения в них чисто нефтяных залежей, особенно в отложениях, прошедших ГФН, еще менее вероятна.

Общий баланс потерь при полном заполнении ловушки газом складывается из объема нефти, оставшейся в коллекторе после ее оттеснения газом, объема так называемой «невывесимой» (по В. П. Савченко, 1977 г.) оторочки нефти и объема нефти, вытесненной за пределы ловушки и потерянной на остаточное насыщение на пути ее миграции до ближайшей ловушки. Эффективность подобного механизма разрушения нефтяных залежей зависит от соотношения объемов внедрившегося газа и ловушки, степени неоднородности коллекторов в пределах ловушки, определяющей возможность сохранения нефтяных «целиков», и коэффициента остаточной нефтенасыщенности в условиях вытеснения нефти газом. Влияет также и качество покрышки над залежью. Она может удерживать нефть, но пропустить часть газа. В этом случае окончательный эффект будет зависеть от соотношения скоростей потока и оттока газа. В региональном плане эффективность процесса обуславливается в первую очередь качеством экранов, разделяющих зоны нефтенакопления и интенсивного газообразования, и унаследованностью структурного плана этих зон. Последнее в значительной степени определяет коэффициент охвата влиянием газа продуктивных ловушек по их числу. Особенно велика роль экранов. Есть основания предполагать, что в бассейнах Северного моря и Персидского залива продуктивность палеозойских отложений и мезозойско-кайнозойских горизонтов, разделенных солью, обусловлена влиянием именно этого фактора.

Оценка потерь нефти при подобном разрушении затруднена в региональном плане, поскольку не изучена степень охвата этим процессом ловушек. Наибольшие масштабы он носил в нефтегазоносных районах, где развиты залежи с газовыми шапками или нефтяными оторочками и, в частности, проявился процесс дифференциального улавливания. По-видимому, в любой залежи, содержащей нефть и газ, особенно свободный, происходил процесс «размазывания» нефти в тех или иных масштабах. В наиболее благоприятных условиях нефть в ловушках при воздействии газа расщепляется по разрезу полностью. Это происходит при внедрении объема газа, равного или превышающего объем ловушки, заполненной до этого нефтью лишь на 30-40 %.

Немногочисленные данные по остаточной нефтенасыщенности в газовых, газонефтяных и газоконденсатных залежах показывают, что она изменяется от 5-10 до 100 % (В. П. Савченко, 1977 г.; А. Г. Дурмишьян, 1967 г.; К. Б. Аширов, 1979 г.; И. И. Нестеров, Ф. К. Салманов, 1971 г.; В. И. Ермаков, Н. Х. Кулахметов и др., 1972 г.; С. П. Максимов и др., 1976 г.). В залежах Западной Сибири она находится на уровне 10-30 %.

Процесс вытеснения нефти газом вызывает не только ее потерю, но и переход части ее в газоконденсатное состояние. Однако остаточная нефтенасыщенность при этом не должна снижаться, поскольку формирование фазовой насыщенности пород и частичный переход

* Это условие необязательно, поскольку возможна ступенчатая миграция.

нефти в газоконденсатное состояние происходит одновременно. И лишь при внедрении новых порций «сухого» газа в коллекторы с остаточной нефтенасыщенностью процесс конденсатообразования на новом качественном и количественном уровне может возобновиться, вызывая снижение нефтенасыщенности пород. Но это снижение невелико, поскольку наиболее летучие компоненты нефти должны были перейти в газовый раствор на предыдущей стадии.

IV. Утечка нефти и газа путем струйной фильтрации через замок ловушки вследствие ее расформирования (уменьшения емкости) под воздействием тектонических причин. Процесс этот возможен при наличии гидродинамической связи залежи с законтурной областью, т. е. в ловушках без катагенного или гипергенного запечатывания залежей. В этом случае миграция осуществляется либо латерально — по коллектору, либо вертикально — по возникшим тектоническим нарушениям до ближайшей ловушки и сопровождается относительно небольшими потерями, не превышающими первых процентов от объема мигрировавших УВ для средних и более крупных месторождений. Относительная величина потерь зависит от дальности миграции и качества коллекторов. Она минимальна в коллекторах I—II класса (по А. А. Ханину) — менее 10 % при миграции 10 млн. т нефти на расстояние в 100 км и максимальна в V—VI классах — до 100 % и более для первых 10 млн. т. В самой ловушке потери нефти и газа представлены остаточной насыщенностью пород. Объем этих пород определяется объемом ушедшей нефти или газа. При полном расформировании ловушки потери равны произведению объема залежи на остаточную насыщенность пород. Они максимальны при разрушении предельно заполненной ловушки и составляют до 0,3—0,4 объема нефтяной и до 0,1 объема газовой залежи.

V. Окисление нефти на водонефтяных контактах в зонах современного и палеогипергенеза установлено во многих залежах. Обычно это окисление происходит с активным участием бактерий, а интенсивность его определяется динамическими ресурсами окислителя (произведением скорости воды на содержание), чаще всего сульфатов, температурой и площадью жидкостного контакта. Процессы окисления могут протекать лишь в водной среде, и поэтому наиболее интенсивны они в переходной зоне от подошвенных вод к залежи с максимальным нефтенасыщением. Поскольку положение контакта в ходе развития залежи обычно меняется, следы окисления (минералогические и физические изменения пород-коллекторов, битумы различной консистенции) часто фиксируются на нескольких уровнях, что позволяет определять его.

По числу контактов и мощности пород со следами окисления нефти можно оценить количество окисленной нефти. При этом следует иметь в виду, что в зонах древних ВНК сохраняется далеко не вся окисленная нефть. Наблюдения в шлифах показывают, что часть ее растворяется, по-видимому, во вновь поступающей легкой нефти и смешивается с нефтью основного объема залежи, обуславливая ее утяжеление и изменение состава глав-

ным образом в асфальтово-смолистой части. Зная объем залежи, первичный и современный составы нефти, можно подсчитать объем растворенных, привнесенных из зон ВНК тяжелых компонентов (битумов), а через него и объем разрушенной в этих зонах нефти. Изучение шлифов из зон ВНК показывает, что на участках, где не проявилось растворяющее влияние легкой нефти и где сохранился весь битум последний занимает в среднем 25 % объема пор. Принимая среднюю остаточную водонасыщенность в пределах переходной зоны ВНК равной 50 % объема пор, получаем, что примерно 50 % нефти в порах (25 % объема) было уничтожено. Поскольку общий объем пор в зонах ВНК точно оценить очень трудно, объем уничтоженной нефти следует определять на основе объема тяжелых компонентов, т. е. битума ($\rho_b \approx 1$), привнесенного в зону легкой нефти из зон ВНК. Общий объем преобразованной нефти определится объемом остаточного битума в зонах всех ВНК тяжелых компонентов, привнесенных в залежь.

Доля привнесенного битума в залежь нефти может быть оценена из соотношения

$$X = \frac{\rho_z - \rho_\lambda}{\rho_b - \rho_\lambda},$$

где ρ_z — средняя плотность нефти в залежи, ρ_b — плотность битума в зоне (зонах) ВНК ($\rho_b \approx 1$ г/см³); ρ_λ — плотность легкой нефти, растворявшей битум в зоне ВНК и привнесшей его в залежь. Плотность нефти в залеже до внедрения легкой нефти принята равной плотности легкой нефти.

Например, при $\rho_z = 0,85$, $\rho_\lambda = 0,70$ и $\rho_b = 1$ доля привнесенного битума равна 0,5. При этом соотношении объем нефти, разрушенной в зонах ВНК, превышает современный объем залежи. Однако точность подобного расчета не очень велика, поскольку с наименьшей погрешностью может быть оценена лишь ρ_λ .

Не исключено, что нефть в некоторых залежах облегчена на последних этапах их развития за счет ее деасфальтизации внедрившимся газом или газоконденсатным раствором. Поэтому при обнаружении в шлифах пород зон ВНК асфальтенов, соседствующих в поре с остаточным битумом, оценивая современную плотность нефти в залежи, необходимо вносить соответствующие поправки, т. е. увеличивать ее плотность.

VI. Разрушение залежей под воздействием подземных вод при наличии наклонных ВНК и вследствие фильтрации нефти (газа) в ВНК и вследствие фильтрации нефти (газа) в ВНК и вследствие фильтрации нефти (газа) в ВНК. В случае тектонических причин, подобно разрушению возможно лишь в залежах, имеющих гидродинамическую связь с законтурной областью. Расформирование залежей* вследствие гидравлического наклона контакта наблюдается в наиболее заполненных антиклинальных ловушках. При равных градиентах наклона в большей степени затрагивает нефтяные залежи, чем газовые, в соответствии с ко-

* Полного расформирования залежей гидродинамическим воздействием произойти может из-за удерживающего влияния давления капиллярного внедрения в зоне гидродинамического замка.

эффициентом усиления $\frac{\rho_b}{\rho_b - \rho_{H(r)}}$, где ρ_b , $\rho_{H(r)}$ — плотность в пластовых условиях соответственно воды и нефти (газа). При этом теоретически, чем тяжелее нефть и чем ближе ее плотность к плотности пластовой воды, тем больше должен быть наклон. Следовательно, гипергенное изменение нефти должно усиливать гидродинамическое воздействие, особенно в зонах развития слабоминерализованных вод. Фактически указанное усиление фиксируется не всегда, поскольку происходит изоляция залежи при образовании в зоне ВНК твердых битумов и вторичного минерального цемента. Такие случаи отмечаются в Волго-Уральской провинции и др. [1, 3, 5, 11, 14].

Потери нефти и газа при подобном разрушении складываются из остаточной насыщенности пород в пределах ловушки и на пути последующей ремиграции. Они тем значительнее, чем больше вызванный наклон контакта. В целом этот процесс распространен, по-видимому, не очень широко, так как контакты, имеющие значительный наклон, на платформах встречаются редко. Наиболее характерны они для краевых зон предгорных и межгорных НГБ, т. е. для районов, где существуют наиболее высокие латеральные градиенты напора вод. Однако в отношении прошлых времен данный вопрос изучен недостаточно. Не исключено, что при импульсивном гидродинамическом развитии водонапорных систем, связанном с активизацией тектонических движений, в отдельных зонах, особенно благоприятных для расформирования АВГД, возникали высокие градиенты давления. Воздействие их возможно было кратковременным, но результаты его весьма существенны, особенно на участках разгрузки подземных вод.

VII. Растворение газа в окружающих залежь водах. В зоне затрудненного водообмена растворение происходит медленно и в относительно небольших масштабах. Оно значительно возрастает при активном водообмене коллекторских толщ мощностью несколько метров и при большой площади ВНК. Однако и в таких условиях время существования крупных газовых залежей (А. Е. Гуревич и др., 1972 г.) исчисляется десятками миллионов лет, а потери газа не превышают млрд. м³ за 1 млн. лет.

На глубинах более 4 км под воздействием высокого давления и температуры растворения УВ газов в воде резко возрастает. По мнению В. Н. Корценштейна [10], В. П. Якунина и Е. С. Баркана (1981 г.), газы в подобных условиях находятся преимущественно в растворенном состоянии, а газовые скопления неустойчивы и быстро растворяются, особенно при низкой минерализации. Действительно, первичная аккумуляция газа в такой обстановке при низком газогенерационном потенциале затруднена. Однако если крупное газовое скопление в силу каких-то причин (тектоническое нарушение, миграция с больших глубин) все же образуется, а таких примеров много, то полное его растворение затруднено из-за низкой, как правило, пористости и диффузионной проницаемостью водоносных пород, а также слабой подвижностью вод. Расчеты показывают, что с глубиной по мере снижения пористости вмещающих отложений и соответ-

ственно их диффузионной для газов проницаемости интенсивность разрушения газовых залежей за счет растворения в воде даже уменьшается. Это наблюдается в зависимости от геотермического градиента до глубин 6—8 км при любой минерализации воды.

VIII. Выпадение тяжелых компонентов нефти (асфальтенов и других высокомолекулярных соединений) при поступлении в залежь легких нефтей (конденсатов) или газа. В пределах нефтяных, газовых и газоконденсатных залежей многих бассейнов (Тимано-Печорского, Волго-Уральского, Балтийского, Восточно-Сибирского, Западно-Канадского и др.) на глубинах до 3500 м и более развиты твердые битумы — от асфальтенов до керитов [4]. Они образовались вследствие осаждения асфальтенов и других высокомолекулярных соединений, вызванного внедрением газа или легкой метановой нефти в ловушки, ранее уже заполненные нефтью. Это явление наиболее характерно для зон сильного уплотнения пород палеозойских бассейнов, где в связи с малым объемом коллекторов, представленных изолированными проницаемыми телами, растет вероятность поступления разных генераций УВ в одну ловушку. В качестве модели образования твердых битумов (асфальтенов) в нефти- и газоненосных пластах приняты лабораторные и технологические процессы деасфальтизации нефтей, основанные на известной способности асфальтенов коагулировать и оседать из нефтей и тяжелых нефтяных остатков при разбавлении их бензином или низшими парафиновыми углеводородами. Потери массы нефти при этих процессах составляют 4—10 %. Одновременно улучшается качество нефти, поскольку она становится легче и менее вязкой.

Механизм «высаживания» асфальтенов недостаточно ясен, особенно при образовании массивных линз и прослоев чистых асфальтенов мощностью до 10 м, в которых пустотное пространство пород почти полностью заполнено ими. Поскольку первичное содержание асфальтенов в нефтях редко превышает 10 %, механизм образования подобных тел должен включать помимо «высаживания» элементы либо гравитационного перераспределения (оседание более тяжелых асфальтенов с оттеснением нефти вверх) компонентов, либо фильтрационного перемещения самой нефти в сочетании с адсорбцией из нее асфальтенов ранее выпавшими асфальтенами.

По массе выпавших асфальтенов можно ориентировочно («снизу») оценить количество потерявшей их нефти, а при наличии сведений о запасах сохранившейся нефти — долю потерянной нефти. В подобных условиях этот показатель позволяет в конечном счете оценить общие потери нефти.

IX. Переход нефти в газоконденсатное состояние в условиях высоких давлений и температур на больших глубинах. Фазовое превращение жидких УВ в газоконденсатный раствор можно рассматривать как процесс разрушения нефтяных залежей лишь частично, в узких интервалах изменения температур и давлений. Потерями при этом следует считать высокомолекулярные тяжелые фракции нефти, не перешедшие в газоконденсатное состояние в данных термобарических условиях, и имеющие высокую вязкость, препятствующую ее извле-

Таблица

Геологические условия, процессы и характер разрушения залежей нефти и газа

Процессы, приводящие к разрушению	Характер разрушения	Геологические условия (причины)
Нарушение экранирующих свойств покрышки	Истечение флюидов на дневную поверхность Окисление в зоне гипергенеза Рассеивание флюидов по выходящей части разреза Размазывание нефти по объему ловушки ниже ВНК в процессе потери газа Размазывание и оттеснение верхней нефти газом, внедряющимся снизу через покрышку	Изначально плохие экранирующие свойства покрышки Интенсивные тектонические деформации Устойчивое значительное поднятие территории Сильный катагенез Глубокая эрозия АВПД
Грязевой вулканизм	Неоднократное истечение газа на дневную поверхность	Дизъюнктивные деформации Мощные толщи глин, способные к размоканию АВПД
Вытеснение нефти газом из ловушек (и его растворение)	Рассеивание жидких углеводородов (выше ГНК — при оттеснении нефти газом; ниже ВНК — при растворении газа в нефти) Возникновение газоконденсатных скоплений со значительными потерями жидкой составляющей Образование невытесняемой нефтяной оторочки малой (непромышленной) мощности	Возобновление погружения территорий, примыкающих к ловушкам, приводящее к дополнительному газообразованию и прорыву из ГЗГ в ГЗН и выше Расформирование ловушек по падению, содержащих газоконденсатные скопления Снижение (увеличение) давления в ловушке или в водонапорной системе, выделение (растворение) газа из нефти, расширение (сжатие) газовой шапки
Расформирование ловушки (тектоническое и гидродинамическое, частичное или полное), содержащей скопление углеводородов	Рассеивание углеводородов на остаточное насыщение пород при латеральной утечке (путевые потери)	Возрастание региональных напряжений Увеличение латеральных градиентов напора вод
Окисление на ВНК	Утяжеление или полное уничтожение в зоне ВНК Микробное преобразование нефти (деградация) в процессе аккумуляции ее в залежь	Палеогидрогеологические и геологические условия: повышенная интенсивность водообмена в зоне ВНК Присутствие окислителей (SO_4^{2-} , O_2) и породах (содержащих Fe_2O_3)
Вымывание водами (вытеснение через наклон ВНК — нефть, растворение водами — газ)	Полное или частичное разрушение залежи нефти (на остаточное насыщение) Переход газа в водорастворенное состояние из газовой залежи. Переход газа в водорастворенное состояние из нефтяной залежи, усадка нефти и остаточное нефтенасыщение	Движение воды при высоких латеральных градиентах напора Краевые зоны НГБ Слабоинтенсивные движения, мигрирующие малоамплитудные структуры На больших глубинах: высокое давление и температура, минерализация воды

Продолжение 1 таблицы 3

Процессы, приводящие к разрушению	Характер разрушения	Геологические условия (причины)
Выпадение из нефти тяжелых компонентов	Деасфальтизация нефти Возникновение битумных скоплений в глубоких недрах	Резкое погружение, приводящее к дополнительному газообразованию Расформирование или разрушение структур, содержащих крупные газовые скопления
Переход нефти в газоконденсатное состояние	Потеря нефтью наиболее легких фракций, увеличение плотности нефти, сопровождаемое увеличением концентрации ароматических УВ, смол и асфальтенов и другими геохимическими изменениями	Наличие в разрезе ГЗГ Проницаемость разреза ниже и выше нефтяных залежей Высокие давление и температура
Деструкция нефти под действием высокой температуры	Облегчение и метанизация нефтей с образованием газов и преобразование жидкой фазы в газоконденсатные системы Размазывание и оттеснение нефти образуемым газом из ловушки	Энергичное погружение после формирования месторождений, создающее большую мощность осадочного чехла и высокую температуру Тектонические контрастные деформации, приводящие к улучшению сообщаемости с глубинными породами через разломы, внедрению гидротерм и иногда траппов
Диффузия	Рассеивание газов Усадка и размазывание нефти ниже ВНК	Первичные свойства разреза Улучшение вертикальной проницаемости разреза Уменьшение глубины, усиление водообмена

коэффициента диффузии УВ газов в породах на порядок меньше ($D=10^{-7}$ см²/с), это время слишком велико даже в геологических масштабах. Роль диффузии в их разрушении, по-видимому, незначительна.

На длительность процесса формирования стационарного диффузионного потока большое влияние оказывает процесс осадконакопления. Скорость распространения фронта диффузии на глубины 1—2 км составляет в среднем 0,010—0,014 мм/год, что соответствует средней скорости осадконакопления в платформенных условиях. Следовательно, в процессе непрерывного компенсированного погружения с указанной скоростью стационарный поток сформироваться не может. Для этого нужны или длительные перерывы в погружении, или существенное снижение темпа осадконакопления.

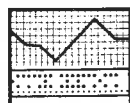
Рассмотренные выше процессы, геологические условия их проявления и характер вызываемого ими разрушения скоплений нефти и газа обобщены в табл. 3. Наиболее существенное и определяющее влияние на процессы разрушения нефти и газа оказывают тектонический, литологический, гидрогеологический, тер-

мобарический и связанный с ними временной факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаматов В. И., Кучерук Е. В., Спасибко В. Д. Об изоляции нефтяных залежей в подошве битумным слоем. — Нефтегазовая геология и геофизика, 1982, № 5, с. 19—20.
2. Бабаев А. Г., Талипов С. Размещение и гидродинамические системы нефтяных залежей Западного Узбекистана. Ташкент, Фан, 1980.
3. Быков В. Н., Данилова Л. Ю. Распространение изолирующего слоя в подошве нефтяных залежей в карбонатных коллекторах. — Труды ПермНИПИнефть, 1971, вып. 6, с. 24—32.
4. Гольдберг И. С. Природные битумы СССР. Л., Недра, 1981.
5. Гуревич А. Е., Капаченко Л. Н., Кругликов Н. М. Теоретические основы нефтяной гидрогеологии. Л., Недра, 1972.
6. Дурмишьян А. Г. О связанной нефти в газовых и газоконденсатных пластах. —

- Геология нефти и газа, 1963, № 9, с. 49—52.
7. Дурмишьян А. Г. О генезисе грязевых вулканов в свете новых данных. — Изв. вузов. Нефть и газ, 1961, № 12, с. 21—26.
 8. Жузе Т. П. Сжатые газы как растворители. М., Наука, 1974.
 9. Залазаева Л. В. Об остаточной нефтенасыщенности продуктивных пластов Мыльджинского газоконденсатного месторождения. — В кн.: Геология нефтегазоносных районов Сибири. Новосибирск, 1971, с. 77—79.
 10. Корценштейн В. Н. Методика гидрогеологических исследований нефтегазоносных районов. М., Недра, 1976.
 11. Кузьмина Е. М., Кучерук Е. В. Новый тип неструктурных залежей нефти и газа. М., ВНИИОЭНГ, 1978.
 12. Калинин М. Н. О механизме и условиях образования грязевых вулканов. — Труды ВНИГНИ, 1960, вып. 27, с. 98—136.
 13. Максимов С. П., Ларская Е. С., Хаханова И. П. О формировании Оренбургского газоконденсатного месторождения. — Геология нефти и газа, 1976, № 11, с. 11—22.
 14. Максимова Г. А., Быков В. Н. О роли вторичного калциита в изоляции залежей нефти месторождений Волго-Уральской провинции. — В кн.: Геология и разработка нефтяных месторождений. Пермь, 1966, с. 126—138.
 15. Особенности формирования сеноманских газонефтяных залежей на месторождениях севера Западной Сибири/В. И. Ермаков, Н. Х. Кулахметов, Н. Н. Немченко, А. С. Ровенская. — Докл. АН СССР, 1972, т. 206, № 3, с. 713—715.
 16. Происхождение и прогнозирование скоплений газа, нефти и битумов. Под ред. В. Д. Наливкина. Л., Недра, 1983.
 17. Рахманов Р. Р. Условия и механизм образования грязевых вулканов. — Докл. АН АзССР, 1982, т. 38, № 5, с. 59—61.
 18. Халилов Н. Ю., Керимов А. А. О генезисе грязевого вулканизма и диапиризма. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1981, № 11, с. 23—28.
 19. Якубов А. А., Магеррамов Ф. С. О генезисе грязевых вулканов и их роли в формировании нефтегазоносных залежей. — В кн.: Происхождение нефти и газа и формирование их месторождений. М., 1972, с. 570—575.



ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ

УДК 553.04

А. И. ГИНЗБУРГ, А. Н. ЕРЕМЕЕВ, Г. В. ОСТРОУМОВ (ВИМС)

Интенсификация освоения минеральных ресурсов

Расширение сырьевой базы страны в последние годы происходило в основном традиционным путем — поиски новых месторождений полезных ископаемых, их последовательная разведка, завершающаяся подсчетом запасов и утверждением в ГКЗ. Однако по мере проведения планомерной геологической съемки и детальных поисков фонд легко открываемых, выходящих на поверхность месторождений с каждым годом уменьшается, особенно в экономически освоенных районах. Для открытия новых месторождений, перекрытых осадочным чехлом или не вскрытых эрозией, приходится затрачивать большие объемы дорогостоящих буровых и горных работ. Новые месторождения открываются главным образом в отдаленных районах, освоение которых требует больших капиталовложений и времени. С момента открытия месторождений до утвержде-

ния запасов в ГКЗ проходит несколько лет. Если же учитывать время, необходимое для их освоения (проектирование и строительство горно-обогатительных комбинатов), то от открытия месторождений до пуска горно-рудных предприятий проходит не менее 10-ти лет.

Экономически более оправданный путь подхода к реальному увеличению минеральных ресурсов страны, наметившийся в Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года, заключаются в интенсификации общественного производства и повышении его эффективности на основе глубоких качественных изменений, вызванных научно-техническим прогрессом.

Существенные сдвиги в фундаментальных геологических исследованиях, вызванные бурным развитием сме-

ных наук и внедрением в геологию и технологию достижений всех областей физики и техники, позволили поднять изучение вещественного состава на принципиально новый уровень. В первую очередь это относится к минералогии. В настоящее время удается не только расшифровывать структуры минералов и строить их кристаллохимические модели, но и проникать глубоко внутрь их строения, на основе законов квантовой механики рассматривать явления, протекающие на атомно-электронном уровне в самой структуре минерала. Это позволило перейти от рассмотрения общих идеализированных кристаллохимических моделей минералов к их реальному строению, выявлять степень дефектности и упорядоченности структур, определять различные типы дефектов, вызванные возникновением радиационных, электронно-дырочных и примесных центров. Оказалось, что эти дефекты, как и электронная структура минералов, определяют многие их свойства (в первую очередь, электрофизические, магнитостатические, оптические, люминесцентные, флотационные и др.). Воздействуя тем или иным способом на минералы (механическим, акустическим, радиационным, лазерным, термическим и др.), можно изменять характер и степень их дефектности, а следовательно, и свойства. Все это имеет далеко идущие последствия: а) появилась реальная возможность изменять свойства минералов в заданном направлении, что крайне важно для разработки новых технологических способов и схем; б) предложены наиболее экономически оправданные пути технологической переработки руд:

— уменьшение объема поступающей на обогатительные фабрики руды за счет ее автоматизированной сепарации и отделения от пустой породы, используя естественные или искусственно вызванные свойства минералов. Тем самым можно поднять содержание полезных компонентов в той части руды, которая поступает на фабрику;

— создание комплексных схем, позволяющих с большим извлечением получать некондиционные черновые концентраты, а затем различными ме-

тодами (ультразвуком, термической обработкой и др.) доводить их до кондиционных или перерабатывать пирометаллургическим способом;

— создание новых материалов с заданными свойствами.

На стыке минералогических и технологических исследований развилось новое научное направление — технологическая минералогия [3, 6, 7, 8, 13, 14]. Существенные изменения произошли и в аналитических методах, имеющих первостепенное значение для экспрессной оценки месторождений и рудопроявлений, для оконтуривания наиболее богатых участков, а также для автоматизированного контроля технологических процессов. Создание полевых рентгенорадиометрических приборов, позволяющих определять содержание большинства элементов в их естественном залегании (на обнажениях, в горных выработках и скважинах), дает возможность непосредственно в полевых условиях наметить площади развития оруденения с учетом различных бортовых содержаний. Это особенно важно для крупных мелкокрапленных метасоматических, магматических, штокверковых, осадочно-эффузивных, стратиформных месторождений, не имеющих четких геологических контуров.

Достижения современного научно-технического прогресса позволяют по новому подходить к освоению минеральных ресурсов недр, ставить и решать проблемы интенсификации их использования. Этот путь развития сырьевой базы экономически наиболее оправдан, поскольку для удовлетворения потребностей развивающейся промышленности не требуются большие капиталовложения и освоение новых месторождений, чаще всего располагающихся в отдаленных районах.

Интенсификация использования минеральных ресурсов может быть осуществлена тремя путями: 1) извлечение из недр максимального количества сырья путем повышения извлечения всех компонентов и комплексного его использования; 2) ревизия уже разведанных месторождений, признанных в свое время забалансовыми; 3) вовлечение в промышленное освое-

ние новых типов минерального сырья.

Повышение сквозного извлечения и разработка безотходной технологии. Методологической основой этого направления являются детальное исследование минерального состава месторождений, сравнительное изучение свойств совместно встречающихся минералов, установление путей направленного изменения их свойств для наиболее полного разделения, определение форм вхождения элементов в состав минералов, а также исследование их поведения в технологических процессах. Повышение извлечения полезных компонентов даже на несколько процентов равносильно открытию и освоению новых месторождений. Намечены определенные пути решения поставленных задач.

Проведение крупномасштабного минералогического и технологического картирования с целью создания объемной модели пространственного распределения минеральных ассоциаций, оконтуривания различных технологических типов и сортов руд. Существующая на всех месторождениях вертикальная и латеральная зональность в распределении минеральных ассоциаций в первую очередь сказывается на технологических свойствах руд, что не в полной мере учитывается при подсчете запасов и эксплуатации месторождений.

Зональность может быть обусловлена развитием гипергенных процессов как с поверхности, так и вдоль всех тектонических зон (линейные коры выветривания), при этом они могут быть современными и древними. Коры выветривания латеритового типа изучены хорошо, а коры выветривания на пегматитах, карбонатитах, различных щелочных и субщелочных породах и их роль в концентрации одних элементов и выносе других охарактеризованы еще слабо. На некоторых месторождениях с зонами окисления связаны значительные запасы, и для них приходится разрабатывать иные технологические схемы, чем для коренных руд. Окисленные и сильно измененные руды, обогащенные глинистыми минералами, нередко встречаются вдоль мощных тектонических зон на больших глубинах, что ослож-

няет работу действующих ГОКов, поскольку требует иных технологических схем.

Зональность может быть обусловлена сменой оруденения с глубиной. Так, баритовые месторождения на глубине переходят в полиметаллические вольфрамовые и вольфрам-молибденовые — в молибденовые, танталовые — в литиевые, золото-серебряное — золотым и т. д. Казалось бы, с глубиной наблюдается изменение минерального состава руд, изменение содержания полезных компонентов. Многие крупные месторождения частных компонентов и отвалных пробывают полигенными и полихронными, появились новые прогрессивные, формируются длительные тенденции в создании безотходных образований, развиваются в разных участках. Все это приводит к достижению можно выделить: основной и точно сложной картине изменения попутные полезные компоненты; элементного состава, что, естественно, сказывается на обогатимости руд.

На ряде месторождений при равном содержании полезных компонентов с глубиной меняются минеральные формы их нахождения, что далеко не всегда учитывается. Даже если состав руд сохраняется, то меняется их физическое состояние, что влияет на применение; отвалы, обогащения и химико-металлургической переработки черновых концентратов, которые можно утилизировать (хвосты, шлаки, кеки, пыль, возгоны и т. п.), что влияет на поведение в технологических процессах.

Все сказанное определяет необходимость проведения крупномасштабного минералогического картирования выделения различных по составу руд, по которым должно проводиться многообъемное технологическое картирование [7, 10, 15] с целью установления технологических типов и сортов руд. Фактически для всех подсчетных блоков необходимо дать оценку обогатимости руд, а также решить вопрос, могут ли руды перерабатываться по единой схеме, следует ли шихтовать различные их типы или обрабатывать отдельно, несколько видоизменяя технологические схемы. Иногда экономически целесообразно оконтуривать отдельные плохо обогащаемые блоки и считать их забалансовыми [7]. Правильная отработка месторождений на основе построенной пространственной

модели распределения различных типов руд, отличающихся по обогатимости, является одним из основных факторов повышения извлечения полезных компонентов.

Комплексное использование сырья и создание безотходных технологических схем. В последние годы этой проблеме уделяют все больше внимания. ГКЗ предъявляет более строгие требования к исследованию минерального состава руд [4], выяснению возможности использования всех попутных компонентов и отвалных проб. Многие крупные месторождения частных компонентов и отвалных пробывают полигенными и полихронными, появились новые прогрессивные, формируются длительные тенденции в создании безотходных образований, развиваются в разных участках. Все это приводит к достижению можно выделить: основной и точно сложной картине изменения попутные полезные компоненты; элементного состава, что, естественно, сказывается на обогатимости руд.

Практически на каждом месторождении можно выделить: основной и попутные полезные компоненты; элементного состава, что, естественно, сказывается на обогатимости руд. На ряде месторождений при равном содержании полезных компонентов с глубиной меняются минеральные формы их нахождения, что далеко не всегда учитывается. Даже если состав руд сохраняется, то меняется их физическое состояние, что влияет на применение; отвалы, обогащения и химико-металлургической переработки черновых концентратов, которые можно утилизировать (хвосты, шлаки, кеки, пыль, возгоны и т. п.), что влияет на поведение в технологических процессах.

Комплексное использование сырья подразумевает рациональное применение в народном хозяйстве большинства указанных продуктов [4, 5], при этом важно проследить их поведение в технологическом процессе и выяснить, на каких этапах они концентрируются и насколько рентабельно их извлечение. Следует различать несколько типов комплексных руд.

1. Основной полезный минерал содержит в своем составе ряд рудных элементов, которые извлекаются в ходе единого технологического процесса. Примером может служить лопарит, извлекаемая из него ниобий и тантал, попутно по той же схеме получают титан и редкие земли.

2. Основной рудный минерал содержит элементы-примеси, для извлечения которых необходимы специальные схемы и организация самостоятельного производства. Так, из нефелино-апатитовых пород получают апа-

титовый концентрат, который перерабатывается на суперфосфат. Из самого апатита можно извлекать редкие земли, стронций и фтор. В каждом таком случае необходимо определить экономическую целесообразность организации подобного производства и учитывать потребность народного хозяйства в данном виде сырья.

3. В пределах промышленного контура месторождения, выделенного по одному полезному минеральному компоненту, встречаются другие ценные минералы, которые могут быть извлечены из руд. Характерными примерами могут служить полиметаллические, медно-молибденовые, медно-никелевые, оловянно-вольфрамовые и другие руды. Комплексность и полнота использования полиминерального сырья обеспечиваются разработкой оптимальных схем обогащения, направленных на получение селективных или коллективных концентратов, а также схем их передела, предусматривающих разделение и очистку полезных компонентов в металлургическом процессе при минимальных потерях. При создании безотходных схем следует утилизировать основную массу нерудных минералов, вмещающих пород и отвалов. Они могут быть использованы для получения керамических, строительных и теплоизоляционных материалов, лазурей, бетона, известии, цемента, каменного лития и стекловаты, удобрений, гравия, щебенки, песка и др.

При решении проблемы комплексного использования сырья главная трудность состоит в том, что извлечение попутных компонентов должно быть целесообразно и экономически рентабельно [4].

Не решены многие экономические вопросы, в частности, подсчет ценности попутных компонентов и учет их потребности. Для постановки попутных компонентов на баланс при утверждении запасов в ГКЗ необходимо представлять документы, подтверждающие потребности в них. Однако когда месторождения реально будут обрабатываться, потребность в этих компонентах могут быть совершенно иными. Потребность определяется в значительной степени ценами. Попутное извлечение ряда элементов из

комплексных руд может привести к резкому снижению цен на них и, соответственно, к росту их потребления, которое сдерживается существующими ценами.

Увеличение содержаний в руде и повышение производительности обогатительных фабрик за счет удаления пустых пород. Извлечение из руд пропорционально содержанию в них полезных компонентов; его можно повысить, удаляя из руд куски пустых или весьма бедных пород. Разработка методов покусковой сепарации позволяет успешно решить поставленную задачу [12]. Эти методы основаны на контрастности свойств руды и безрудных (или слабо оруденелых) пород, таких как цвет, фото- и рентгенолюминесценция рудных минералов, магнитность (для железных руд), электропроводность (для сульфидов), естественная и искусственная радиоактивность, способность поглощать нейтроны и др. В некоторых случаях такую сепарацию удается проводить непосредственно в вагонетках или автомашинах. Подобными методами удается поднять содержание металлов в рудах, поступающих на обогатительную фабрику в 1,5—2,5 раза. Мерой применимости этих методов является степень контрастности руд — новый параметр, который следует определять для руд всех месторождений. Возможность применения покусковой сепарации необходимо учитывать при определении методики разведочных работ и установлении кондиций для подсчета запасов.

Выявление форм вхождения элементов в состав рудных минералов, определение направлений технологических исследований и создание комбинированных технологических схем. Существуют различные формы вхождения элементов в состав минералов. Они могут быть основными компонентами руд и определять их химический состав, входить в состав минералов изоморфно, замещая в кристаллической решетке другие элементы, содержаться в форме мельчайших (измеряемых микронами) частиц минералов, находящихся в виде механических включений в других рудных и породообразующих минералах, располагаться в дефектах кристалличе-

ской решетки или быть сорбированы на поверхности тонкодисперсных минеральных агрегатов. Знание форм вхождения рудных элементов и составление баланса их распределения по минералам руд позволяет рассчитывать теоретически возможное извлечение, определить извлекаемую долю полезных компонентов при обогащении и тем самым наметить направления технологических исследований.

Традиционный путь получения концентратов и дальнейший их передел далеко не всегда являются наилучшими, поскольку извлечение из многих руд не превышает 60 %, а для труднообогащаемых («упорных») не достигает и 50 %. Экономически более рационально получение большим извлечением (порядка 80—90 %) бедных черновых концентратов и их переработка пирометаллургическими способами на конечные продукты. Извлечение при химико-технологических процессах, как правило, очень высокое (90—95 %) в связи с чем и сквозное извлечение достигает 75—80 %. В отдельных случаях, когда извлекаемая доля при обогащении весьма незначительна (вследствие отсутствия или малых количества собственных минералов), целесообразно перерабатывать руды этими методами (выщелачивание, ионный обмен, фьюминг-процессы и т. п.). Применение комбинированных методов переработки руд может дать большой экономический эффект и поднять эффективность работы горнорудных предприятий.

Проведение стереологических исследований с целью определения режима дробления руд, максимального извлечения и технологического прогнозирования. Стереологические исследования включают изучение гранулометрического состава рудных минералов, морфологии зерен, граничного соприкосновения рудных минералов с сопутствующими, определение различных коэффициентов, характеризующих срастания минералов и степень новесности руды или породы, а также удельную поверхность рудных зерен. Построение гранулометрических кривых позволяет рекомендовать оптимальный режим дробления, а также формы зерен и коэффициен-

срастания — оценить количество получаемых сростков и потерь ценных минералов при обогащении. Вычисляя на основе составления баланса распределения рудного элемента неизбежные потери (геохимические за счет рассеяния и технические за счет образования сростков и шлама), можно определить максимально возможное извлечение [2], т. е. прогнозировать технологические параметры, которые можно получить методами обогащения.

Применение более прогрессивных процессов обогащения, в том числе основанных на направленном изменении свойств минералов. Интенсификация обогатительных процессов может быть осуществлена как за счет внедрения новых более прогрессивных методов обогащения и соответствующей аппаратуры, так и путем изменения свойств минералов в необходимом для их разделения направлении. В последние годы разработана аппаратура, позволяющая успешно с наименьшими потерями выделять необходимые минералы: винтовые сепараторы, пневматические столы для сухого обогащения, электрические классификаторы, магнитно-гидродинамические и магнитостатические приборы, основанные на разделении минералов в магнитной жидкости, диэлектрические, трибо-электрические и полиградиентные сепараторы, использующие различные электрофизические свойства минералов. Внедряются и новые методы флотации — пенная, ионная, флокулярная и др.

При переработке громадных объемов рудной массы достаточно сложно изменять свойства минералов путем воздействия на них различных излучений. Эти методы используются преимущественно при переработке черновых концентратов. Поставленные эксперименты показали, что, облучая в различных диапазонах энергии некоторые широко применяемые флоторегуляторы, можно резко усилить их воздействие на минералы и тем самым повысить извлечение при флотационных процессах.

При переработке черновых коллективных концентратов и выделении из них полезных компонентов могут применяться различные способы воздей-

ствия на минералы [14]: очистка их поверхности от пленок ультразвуком и генерирование различных дефектов, облучение частицами высокой энергии с целью разупорядочения структуры минералов и увеличения в них плотности дефектов (что важно для последующих гидрометаллургических процессов, ускорения растворимости минералов).

Развитие минералого-технологических исследований и разработка новых методов переработки концентратов. Переход на комбинированные схемы переработки руд требует усиления внимания к пирометаллургическим процессам. Учет влияния реальной структуры минералов (степени упорядоченности и дефектности, наличия примесей, гетерогенности) сказывается на их растворимости, поведении при спекании с различными реагентами. Не меньшую роль играют постоянно присутствующие в концентратах сопутствующие минералы, которые в одних случаях способствуют интенсификации химико-металлургических процессов, в других — резко снижают извлечение.

Весьма прогрессивны новые методы передела концентратов — электрохимическая, плазменная, электролучевая, зонная плавка, вакуумная возгонка, автоклавное вскрытие, жидкостная экстракция и сорбция, бактериальное выщелачивание, использование ионно-обменных процессов, хлорирования и фторирования. Применение всех этих методов с учетом минерального состава концентратов и их особенностей позволяет создать экономически более эффективные, менее энергоемкие технологические схемы с применением более дешевых и менее токсичных реагентов, что особенно важно для охраны природы и окружающей среды. Этой же цели служит очистка сточных вод и хвостохранилищ, а также выбрасываемых газов от пыли и вредных примесей.

Освоение забалансовых месторождений. Опыт проведения поисковых работ показывает, что на каждое промышленное, подготовляемое к освоению месторождение приходится не менее 5—10 забалансовых. Причинами этого чаще всего являются: низкие содержания полезных компонентов, мел-

кие масштабы, плохие показатели обогащения, высокий процент разубоживания при добыче, трудные экономические условия нахождения и недостаточная рентабельность освоения. Следует также учитывать, что значительная часть этих «не активных» ресурсов была открыта и оценена в 30—70-е годы и фонд забалансовых месторождений необычайно велик. Некоторые месторождения ранее разрабатывались и были законсервированы вследствие уменьшения содержаний с глубиной, низкой рентабельности добычи или считаются выработанными. На отработанных месторождениях остаются горы отвалов, располагаются гигантские хвостохранилища.

Достижения современного научно-технического прогресса позволяют превратить значительную часть забалансовых месторождений в промышленные и за счет этого расширить сырьевую базу страны. Намечается несколько подходов к решению этой важнейшей проблемы.

1. Применение всех рассмотренных способов повышения извлечения полезных компонентов из недр и комплексности использования сырья.

2. Применение новых геотехнологических методов отработки месторождений. Для некоторых типов месторождений, залегающих в благоприятных для фильтрации растворов водонесных осадочных проницаемых породах, эффективно применение геотехнологических методов — подземного выщелачивания в условиях естественного залегания руд. Основой этих методов является частичное или полное извлечение полезных компонентов из недр путем их перевода в подвижное состояние на основе тепловых, массообменных, химических и гидродинамических процессов [1, 9]. Перспективно также применение кучного выщелачивания из отвалов. Используя геотехнологические методы, можно рентабельно отработать весьма убогие руды, считающиеся забалансовыми, но при благоприятных геотехнологических условиях.

3. Совместное освоение ряда близко расположенных месторождений. Часто месторождения, расположенные в малоосвоенном районе, оказываются нерентабельными вследствие необходи-

мости проведения дорог, создания системы энергообеспечения, строительства необходимых гидротехнических сооружений, поселков и т. п. Но при этом руды, которые хорошо обогащаются в этом же районе, могут быть освоены совместно с созданием единой инфраструктуры они оказываются высоко рентабельными. В этой связи целесообразно предприятие, которое по мере разрабатывается ТЭД не на отработку богатых руд и получения от каждого отдельного месторождения, а на единый рудный район в целом. При этом должна быть также решена задача улучшения технологических

4. Переработка отвалов и разливов накопившихся на выработанных и действующих предприятиях. Многие выработанные в предыдущие годы месторождения разрабатывались не комплексно, извлечение из руд было невысоким, наши знания о концентрациях в рудах ряда полезных ископаемых (особенно редких элементов, золота и др.) были недостаточными, многие элементы вообще в тот период не находили себе применения. Поэтому важной задачей является опробование, геохимическое и минералогическое изучение громадных отвалов, хвостов обогатительных фабрик, которые остались на месте нахождения бывших рудников и накопились на давно действующих предприятиях. Руды этих «техногенных» образований уже вынуты из недр, большей частью раздроблены, и рудные компоненты особенно легко могут быть извлечены из них кучным (кислотным, щелочным или бактериальным) выщелачиванием, а также другими методами.

5. Разработка мелких относительно богатых месторождений. Подобные месторождения с хорошо обогатимыми рудами нередко не разрабатываются из-за небольших запасов и низкой рентабельности строительства на их основе горнорудных предприятий. Создание малогабаритных передвижных обогатительных фабрик небольшой производительности позволяет успешно решить эту задачу, особенно важную для дефицитных видов сырья.

В настоящее время открыты крупные месторождения бедных и рядовых руд, обеспеченные запасами на многие десятки и сотни лет. Существует тенденция строить на их базе предприятия многомиллионной производительности, однако более рента-

бельно осваивать такие месторождения поэтапно. Подняв бортовое содержание необходимых гидротехнических сооружений, можно оконтурить участки богатых руд, которые хорошо обогащаются в этом же районе, могут быть освоены совместно с созданием единой инфраструктуры они оказываются высоко рентабельными. В этой связи целесообразно предприятие, которое по мере разрабатывается ТЭД не на отработку богатых руд и получения от каждого отдельного месторождения, а на единый рудный район в целом. При этом должна быть также решена задача улучшения технологических

6. Промышленное освоение новых видов минерального сырья. Наши знания о распространенности минералов в природе крайне ограничены. Многие минералы, которые веками считались редкими, в определенных условиях могут встречаться в существенных количествах и представлять практический интерес. В роли новых уже освоенных или перспективных для дальнейшего использования видов сырья выступают следующие минералы: для алюминия — даунсонит, другие водные карбонаты алюминия, анортит, кальсилит и ортоклаз (синнырит); для олова — гидростанит, железит (варламовит, натанит, исмирновит и др.), малаяит; для вольфрама — тунгстенит, вольфрамодержащие окислы марганца; для марганца — тодорит, бирнессит, вернадит (в железо-марганцевых конкрециях); для ртути — швацит, ртутьсодержащий сфалерит; для циркония — адделейт, кальциртит; для редких земель — куларит (аутигенный монацит), черчит, беловит (редкоземельный апатит), гагаринит, иттриофлюорит, иттриалит и др.; для бора — водные кальциевые и магниевые бораты (курчатовит, сахит, солонгит и др.), танбурит; для фтора — криолит.

Исследование ряда плохо изученных свойств минералов — упругих, акустических, термических, электрофизических (полупроводниковых, диэлектрических, пьезоэлектрических), фотоэлектрических, ионнообменных, каталитических, радиационных и др. — позволяет широко использовать их в различных областях техники. Это особенно относится к нерудным минералам. Многие из них могут быть ис-

пользованы для получения звуко- и теплоизоляционных материалов (вермикулит и многие другие), создания сверхпрочного бетона (воластонит, актинолит, тремолит), герметических смазок, получения электрокерамических материалов, керамических плиток и изделий с особыми свойствами, высококачественного фарфора, жаропрочных покрытий (брусит, немалит), радиационноустойчивых материалов, лазури (эгириин), молекулярных сит (цеолиты, титано- и цирконосиликаты типа астрофиллита — келдышита), различных наполнителей (талк, барит, палыгорскит и др.), огнестойких красок, катализаторов при технологических процессах и многих других.

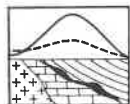
Большое значение имеет детальное изучение состава минералов и выявление в них полезных примесей. Установлено, что в сфалеритах некоторых месторождений накапливается ртуть (до 10 %); в биотитах экзоконтактных зон редкометалльных пегматитов, минералах ряда астрофиллит — куплетскит, некоторых вулканических стеклах среднего и кислого состава — цезий; в глинистых минералах типа то-судита — литий; в гранатах оловоносных скарнов — олово; в апатитах щелочных пород — редкие земли; в эвдиалитах — ниобий и редкие земли иттриевой группы и т. п. При разработке экономически рентабельных технологических схем все эти элементы могут быть извлечены и таким образом увеличено число минеральных видов, имеющих практическое значение.

По-видимому, не существует минералов, не представляющих никакого практического интереса, а также руд, которые нельзя было бы обогатить и использовать; необходимо только это сделать экономически рентабельным путем.

Не противопоставляя традиционное направление геологоразведочных работ — поиски и разведку новых месторождений — процессу интенсификации использования природных ресурсов, авторы считают последний путь развития экономически оправданным. Поэтому необходимо усилить работы по изучению вещественного состава руд и месторождений, технологическим изысканиям и геолого-технологическим исследованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аренс В. Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. М., Недра, 1975.
2. Барсуков Н. С. Минералого-геохимическая оценка обогащения редкометалльных руд. — Разведка и охрана недр, 1980, № 2, с. 32—35.
3. Блисковский В. З. Обогащительная минералогия руд — самостоятельный раздел минералогической науки. — В кн.: Вещественный состав фосфоритных руд. М., 1975, с. 3—29. (Тр. Госуд. ин-та горно-химического сырья, вып. 30).
4. Быбочкин А. М. Технологические исследования — важнейший элемент разведываемых месторождений. — Разведка и охрана недр, 1974, № 4, с. 1—5.
5. Быховер Н. А. Научно-технический прогресс и проблемы минерального сырья. М., Недра, 1979.
6. Гинзбург А. И., Александрова И. Т. Технологическая минералогия — новое направление минералогических исследований. — Разведка и охрана недр, 1974, № 3, с. 36—40.
7. Гинзбург А. И., Александрова И. Т., Шманенков И. В. Задачи технологической минералогии, пути и методы их решения. Сов. геология, 1977, № 5, с. 7—19.
8. Гинзбург А. И., Кузьмин В. И., Сидорова Г. А. Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. М., Недра, 1981.
9. Грабовников В. А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. М., Недра, 1983.
10. Коц А. Г., Черноплатов С. Ф., Шманенков И. В. Технологическое опробование картирование месторождений. М., Недра, 1980.
11. Мирлин Г. А. Геологическое картирование — первый этап в исследовании минерального сырья. — Изв. АН СССР. С. геол., 1979, № 12, с. 13—19.
12. Мокроусов В. А., Лилеев В. А. Раднометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М., Недра, 1979.
13. Пирогов Б. И. Роль минералогических исследований в обогащении руд. — Минералог. журнал, 1982, № 1, с. 81—92.
14. Ревнивцев В. И. Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых. — Зап. ВМО, 1982, вып. 4, с. 44—49.
15. Шманенков И. В. Технологические исследования при разведке месторождений полезных ископаемых. — Сов. геология, 1979, № 12, с. 89—96.



ГЕОФИЗИКА

УДК 550.832.5+550.832.44

Е. В. КАРУС, О. Л. КУЗНЕЦОВ (ВНИИЯГГ)

Импульсная нейтрометрия и широкополосная геоакустика глубоких скважин

Стремительно возрастает роль методов и технических средств, предназначенных для детального исследования свойств и строения геологической среды на больших глубинах. Сегодня традиционно бурение поисковых и разведочных скважин до 5—6 км, а в качестве уникальных экспериментов на глубины свыше 10 км.

Это диктуется необходимостью поиска глубокозалегающих месторождений, комплексного изучения и освоения больших регионов, изучения тектонического строения крупных блоков земной коры и другими геолого-геофизическими, техногенными и экологическими задачами. Хочется особо подчеркнуть многоаспектность проблем изучения вскрытых скважинами

разрезов, которые можно условно разделить на две группы: фундаментальные и прикладные. Фундаментальные вопросы являются:

— изучение процессов эволюции строения земной коры;

— установление вертикальной и горизонтальной зональности геофизических и геохимических процессов в недрах Земли;

— изучение термодинамического состояния массивов пород на больших глубинах и в первую очередь распределения полей напряжений и температур.

К числу важнейших прикладных задач, решаемых при использовании геофизических исследований скважин

(ГИС), можно отнести (на примере только нефтяной геологии):

— на стадии поисков — выявление нефтегазоперспективных интервалов; корреляцию пластов в пространстве между скважинами; оценку литофациальных изменений по разрезу и площади; построение моделей геологических разрезов, помогающих повысить надежность интерпретации сейсмических и других наземных геофизических методов;

— на стадии разведки — детальное изучение нефтегазоносности разреза и геометризацию залежей; определение положений водонефтяного (ВНК) и газожидкостных (ГЖК) контактов; количественную оценку эффективной мощности и других подсчетных параметров пластов; обоснование технологии и управление испытаниями пластов;

— на стадии разработки — контроль за изменением нефтегазонасыщенности пластов и перемещением ВНК и ГЖК; обнаружение интервалов проникновения воды в эксплуатационные скважины и контроль за их техническим состоянием в процессе эксплуатации; выявление и доразведку объектов, пропущенных на стадиях поисков и разведки месторождений.

Основными источниками информации о свойствах разреза скважины являются: керновый материал; испытания пластов специальной аппаратурой отбора (взятие проб газовой, жидкой или твердой фазы пород); геофизические исследования горных пород, вскрытых скважинами. За последние десятилетия роль геофизических исследований скважин неизмеримо возросла по сравнению с первыми двумя видами изучения в связи с высокой стоимостью, низкой производительностью и значительной продолжительностью таких работ.

Хотя ГИС не могут полностью исключить отбор керна и испытания, они играют основополагающую роль не только в изучении геологических и петрофизических характеристик разреза, но и в оптимизации таких сложных и дорогостоящих технологических процессов, как бурение, освоение и капитальный ремонт глубоких и сверхглубоких скважин. По данным каротажа оценивают качество крепления сква-

жин обсадными трубами, в том числе гидродинамическую разобщенность пластов, прогнозируют наличие зон аномально высоких пластовых давлений и др.

Высокая информативность каротажа при решении указанных задач предопределила интенсивный рост масштабов его применения в отраслевых системах министерств геологии, нефтяной и газовой промышленности СССР. Современные ГИС включают все виды известных физических полей (электрические, электромагнитные, магнитные, гравитационное, упругое, тепловое, ядерно-физическое и др.). В промышленности применяется около 50 модификаций и методов, основанных на регистрации этих полей.

Рассмотрим лишь два из них — импульсный нейтронный ИНК и широкополосный акустический каротаж АК, за разработку и внедрение которых большому коллективу геофизиков и геологов присуждена Государственная премия СССР за 1982 г.

Именно эти методы оказались столь эффективными при поисках, разведке и контроле за разработкой нефтяных и газовых месторождений. В отличие от других они дают информацию о свойствах разреза не только в открытых, но и в обсаженных скважинах, что имеет принципиальное значение.

Как известно, процесс бурения скважин связан с проникновением в горные породы значительного количества промысловой жидкости, которая маскирует истинное насыщение пласта нефтью или газом. В ряде случаев оценить его можно лишь спустя некоторое время после обсадки скважины, когда под действием гравитационных, фильтрационных и диффузионных сил зона проникновения фильтрата расформируется, и флюид, насыщающий пласт, вновь подойдет непосредственно к стенке скважины.

Изучение горных пород в условиях обсаженных скважин связано с необходимостью регулярного контроля за выработкой продуктивных пластов в процессе их эксплуатации, например контроля за перемещением границы (контакта) между нефтью (или газом) и водой, закачиваемой в пласты для интенсификации добычи. Только в обсаженных скважинах возможны де-

тальные геофизические исследования в интервалах высокопористых коллекторов, а также в участках рыхлых и раздробленных зон земной коры.

Изучение обсаженных скважин позволяет выявить ранее пропущенные продуктивные пласты выше эксплуатируемого горизонта. Такое направление названо доразведкой месторождений на основе геофизических исследований огромного числа действующих (обсаженных) скважин. Вот почему у геофизиков были весьма веские причины взяться за разработку новых методов, позволяющих получить информацию о свойствах геологического разреза через слои обсадной колонны и цементного камня.

Это весьма трудная физико-техническая задача, так как возникает необходимость не только ввести и вывести энергию поля через слоистый экран, но еще и получить важнейшую информацию: о типе флюида, насыщающего пласт (вода, нефть или газ); характере и количественных характеристиках пустотного пространства пласта (пористость, трещиноватость или кавернозность); литологии пласта; техническом состоянии обсадной колонны, в частности жесткости ее контакта с горной породой.

На самом начальном этапе исследований стало ясно, что ни один, даже самый совершенный, метод не способен решать все названные задачи. Важно было найти такое сочетание физических полей и способов их регистрации, которые были бы чувствительны и к элементному составу флюидов-порозополнителей, и к изменению структуры пустотного пространства горных пород. Тщательный анализ возможностей разнообразных сочетаний методов показал, что наиболее полную информацию о разрезах может дать комплекс импульсных методов нейтронного и широкополосного акустического каротажа. При этом может быть использована высокая чувствительность, с одной стороны, акустического поля к изменениям напряженного состояния массива пород, их пористости, трещиноватости и ряда других физико-механических и гидродинамических свойств, а с другой — нестационарного нейтронного поля к элементному составу скелета пород и запол-

няющих их флюидов, в первую очередь к изменениям концентрации элементов с большим сечением захвата тепловых нейтронов (хлор, бор и др.) и аномальными замедляющими нейтронными параметрами (водород).

Важным достоинством комплексных импульсных методов широкополосного акустического и нейтронного каротажа является их высокая информативность при изучении разрезов, включающих коллекторы сложного типа: глинистые трещинно-кавернозные (в том числе карбонатные); с широким диапазоном минерализации остаточной и закачиваемой воды; одновременно насыщенные нефтью, газом и водой и т. д. Особенности методов определили особенности их применения на нефтегазовых объектах Западной Сибири, Урало-Поволжья, Западного Казахстана и других районов страны.

Методы основывались на принципах нейтронной* или акустической локализации импульсного нейтронного каротажа: при скважинной зондировании в скважину помещают импульсный источник нейтронов или упругих колебаний, и в течение времени жизни τ тепловых нейтронов или упругих колебаний возникают физические поля, пространственное распределение энергии которых характеризует свойства среды, пересеченной нейтронным каротажом. Спектрально-временной анализ позволяет выделить в импульсном сигнале P -волны в пористых и трещиноватых породах, различные типы волн (продольные P , поперечные S , поверхностные R), оценить скорости их распространения, спектр и затухание их энергии. Названные параметры волн несут исключительно важную информацию о физико-механическом состоянии массива пород и их тонкой структуре. В ряде случаев упругие волны могут быть чувствительны к типу флюида-порозополнителя или к его фазовому состоянию (газ или жидкость).

При разработке методов были изучены фундаментальные вопросы теории и установлены основные закономерности взаимодействия импульсных потоков нейтронов или звуковой энергии с пористыми средами, пересеченными скважиной. В результате теоретического и экспериментального (на моделях пластов) изучения реакций замедления, неупругого рассеяния и диффузии нейтронов выявлены также основные закономерности взаимодействия потока нейтронов с водо-, нефте- и газонасыщенными пористыми средами.

Идея нейтронной локализации горных пород была высказана акад. Г. Н. Флеровым и им. Этот метод плодотворно развивался его учениками в ВНИИЯГГе.

Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе. Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе.

Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе. Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе.

Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе. Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе.

Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе. Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе.

Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе. Имя академика Г. Н. Флерова в названии ВНИИЯГГе.

мер, в пористой среде могут возникать акустико-гидродинамические течения флюида, заполняющего поры или трещины. Следует также отметить большой коэффициент затухания волн $L-St$ в проницаемых участках разреза. В качестве основных информационных характеристик при широкополосном акустическом каротаже используют скорости распространения, коэффициенты затухания, частотные спектры, амплитуды PPP , PSP и $L-St$ -волн, которые применяются и для решения промыслово-геофизических задач (таблица). Только комплексное использование нейтронных и акустических характеристик может дать достоверную информацию об элементном и минеральном составе горных пород, характере их насыщения и типе пустотного пространства.

Помимо числовых характеристик в широкополосном АК используются для типизации, классификации и решения задач сейсмостратиграфии так называемые акустические образы горных пород, получаемые с помощью специально регистрируемых фазокорреляционных диаграмм, волновых картин и их спектрограмм.

Для реализации импульсного нейтронного и широкополосного акустического каротажа было необходимо создание уникальной геофизической аппаратуры. Ее уникальность определялась прежде всего жесткими метрологическими и технологическими требованиями.

Наибольшее количество физико-технических проблем, естественно, возникло при создании зондовых установок, предназначенных для спуска в глубокие скважины. Здесь разработчикам пришлось преодолеть весьма противоречивые требования: с одной стороны, необходимо обеспечить прецизионные измерения характеристик потоков нейтронов и распространения звуковой энергии, а с другой — аппаратура должна быть исключительно надежна в эксплуатации, вибро-, термо- и бароустойчива до температуры 150 °C и давления 150 МПа.

Основным элементом аппаратуры ИНК является управляемый источник быстрых нейтронов, или импульсный генератор нейтронов. Он представляет собой малогабаритный ускоритель.

* Идея нейтронной локализации горных пород была высказана акад. Г. Н. Флеровым и им. Этот метод плодотворно развивался его учениками в ВНИИЯГГе.

Ивакин Б. Н., Карус Е. В., Кузнецов О. Л. Акустический метод исследования скважин. М., Недра, 1975.

** Физические основы импульсных нейтронных методов исследования скважин/Ю. С. Шителович, С. А. Кантор, А. С. Школьников и др. М., Недра, 1975.

Информационные характеристики ИНК и широкополосного АК

Свойства окружающей среды	Нейтронные свойства						Акустические свойства					
	Длина замедления	Время замедления	Время жизни тепловых нейтронов	Коэффициент диффузии тепловых нейтронов	Плотность надтепловых нейтронов	Плотность тепловых нейтронов	v_p	v_s	v_p/v_s	A_p/A_s	A_L	Акустический образ
Элементный состав	+	+	+	0	+	+	0	0	0	—	—	—
Минеральный состав	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	—	+
Тип флюида-порозаполнителя	0	0	+	0	0	+	0	0	+	+	—	—
Фазовое состояние	+	+	+	+	+	+	0	0	+	+	—	—
Структура пустотности	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	—	+
Коэффициент пористости	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—
Проницаемость	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	—	—
Глинистость	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	—	—
Тонкое переслаивание	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	—	—
Жесткость контакта на границе колонна—цемент	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
То же, на границе цемент—порода	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
Физико-механические свойства, упруго-деформированные модули	—	—	—	—	—	—	+	+	+	0	—	—
Напряженное состояние массива (в том числе устойчивость)	—	—	—	—	—	—	+	+	+	0	—	—

Плюс означает сильную связь, ноль — слабую, минус — отсутствие связи.

ионов дейтерия, бомбардирующих триевую мишень. Диаметр такого ускорителя не превышает 5 см. Для ускорения ионов дейтерия требуется высоковольтный импульсный источник питания с напряжением до 200 000 В. При взаимодействии ионов дейтерия с этой мишенью во внешнюю среду выбрасывается поток быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ, интенсивностью до 10^9 нейтронов в секунду.

Наиболее важными узлами акустической аппаратуры являются широкополосный излучатель, рассчитанный на возбуждение короткого импульса (до 1,5 м/с), образующего упругие колебания в полосе частот 0,5—50 кГц, и акустический приемник (магнитострикционного либо пьезоэлектрического типа), отделенный от излучателя акустическим изолятором.

В Советском Союзе налажен серийный выпуск аппаратуры ИНК и АКН. Производственные объединения Министерства геологии СССР и Министерства нефтяной промышленности обеспечили ее широкое применение в важ-

нейших регионах поисков и добычи нефти и газа.

Рассмотрим некоторые примеры эффективного применения импульсной нейтронометрии и широкополосной геоакустики (в комплексе с традиционными методами ГИС) для решения разнообразных геолого-геофизических и технологических задач.

Изучение глубинных зон земной коры с помощью геофизических и петрофизических исследований глубоких и сверхглубоких скважин проводилось в пределах кристаллических щитов.

На основе ядерно-физических исследований ИНК, гамма-гамма-спектрометрии изучены элементный состав древнейших кристаллических пород (по содержанию в них водорода, углерода, тория, калия), а также скорости распространения волн в них. В частности, установлены отсутствие положительного градиента скоростей продольных P и поперечных S волн с глубиной, нарастающее с глубиной значение коэффициента их анизотропии, минеральный состав каркаса горной породы, его глинистость и проница-

тензора напряжений. На глубине нескольких километров выявлена аномальная зона, т. е. зона с пониженной скоростью, но с увеличенными трещиноватостью и пористостью (рис. 1).

Прогнозирование геологического разреза в пространстве между скважинами при поисках и разведке месторождений строится на применении методики комплексной интерпретации по системе земля — скважина, которая включает: 1) построение (по данным АК) линейной геоакустической модели; 2) сопоставление этой модели с результатами комплексной интерпретации материалов ГИС; 3) определение модели с заданным шагом сглаживания; 4) построение теоретических профилей вертикального сейсмического профилирования, а также горизонтальных теоретических профилей метода общей глубинной точки.

Совместный анализ результатов математического моделирования волновых полей, количественной интерпретации материалов каротажа и полевых сейсмических наблюдений позволяет рассматривать данные каротажа как петрофизическую основу для обработки материалов сейсморазведки и построения интерпретационных моделей. Отдельные литотипы горных пород, в частности коллекторы нефти и газа, выделяются в пространстве между скважиной или по сейсмическим профилям, выходящим от известных нефтеносных площадей на неизвестные, с помощью математического аппарата теории распознавания образов (рис. 2).

Разведка и доразведка нефтяных месторождений и подсчет запасов в значительной мере базируются на информации методов ядерной геофизики и геоакустики особенно при изучении сложенно построенных карбонатных и терригенно-карбонатных коллекторов. В таких разрезах по данным широкополосного АК может быть оценен тип коллектора, т. е. его пористость, трещиноватость, кавернозность; по ИНК определяется характер его насыщения (вода, нефть или газ) и, наконец, на основе комплексной интерпретации акустических и нейтронных методов — минеральный состав каркаса горной породы, его глинистость и проница-

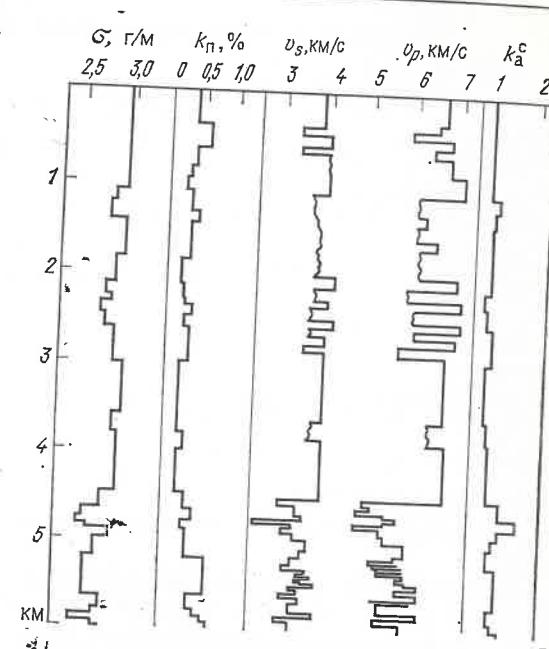


Рис. 1. Результаты изучения строения глубинных слоев земной коры по данным геоакустики

Названные методы нашли широкое промышленное применение в Волго-Уральском регионе при доразведке верхних карбонатных отложений, залегающих выше основных разрабатываемых терригенных пластов девона. В результате массовых работ, проведенных в сотнях обсаженных старых скважин в пределах Ромашкинского месторождения, были выявлены и введены в промышленную эксплуатацию новые нефтяные пласты. Необходимо отметить, что разведка этих новых горизонтов оказалась в несколько раз дешевле, чем выявленных ранее, за счет резкого сокращения объемов разведочного бурения. В 80-е годы эта технология была успешно применена при разведке западносибирских и казахстанских месторождений (Самотлор, Уренгой, Федоровское, Муравленковское и др.). Пример комплексного изучения карбонатного разреза нефтяного месторождения ядерно-физическими и геоакустическими методами приведен на рис. 3.

Контроль за разработкой действующих месторождений. Для контроля за процессом вытеснения нефти водой, закачиваемой в нагнетательные скважины, разработан целый комплекс методов скважинной геофизики. Вместе с

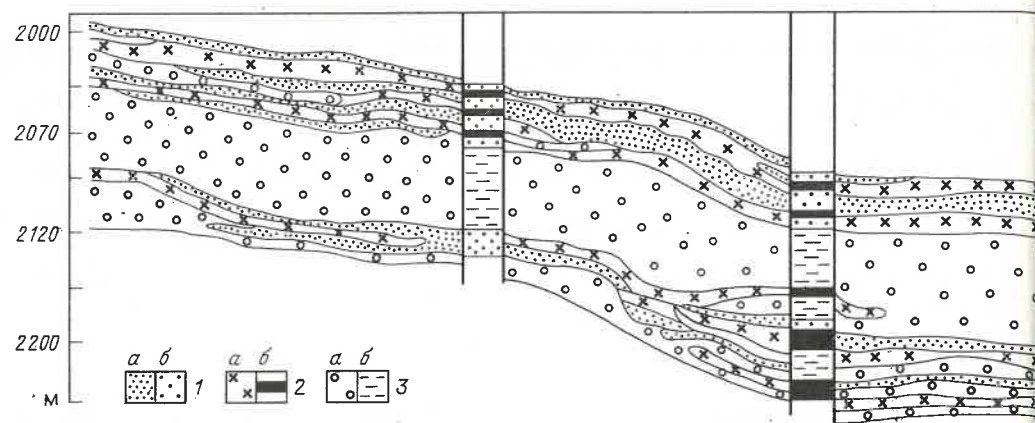


Рис. 2. Прогноз литологии в пространстве между скважинами по данным математического моделирования (а) и каротажа (б)
1 — песчаники, 2 — глины, 3 — песчано-глинистые разности

тем основную информацию о движении закачиваемых вод и динамике изменения текущего коэффициента нефтенасыщенности получают с помощью импульсных нейтронных методов. Особенно эффективен ИНК в условиях, когда в пласт закачивают высокоми-

нерализованную ($\text{NaCl} > 15 \text{ г/л}$) воду. На показания метода влияет значительная концентрация в воде атомов Cl , ядра которых обладают аномально высоким сечением захвата тепловых нейтронов. В такой ситуации плотность нейтронов в нефтеносном пр-

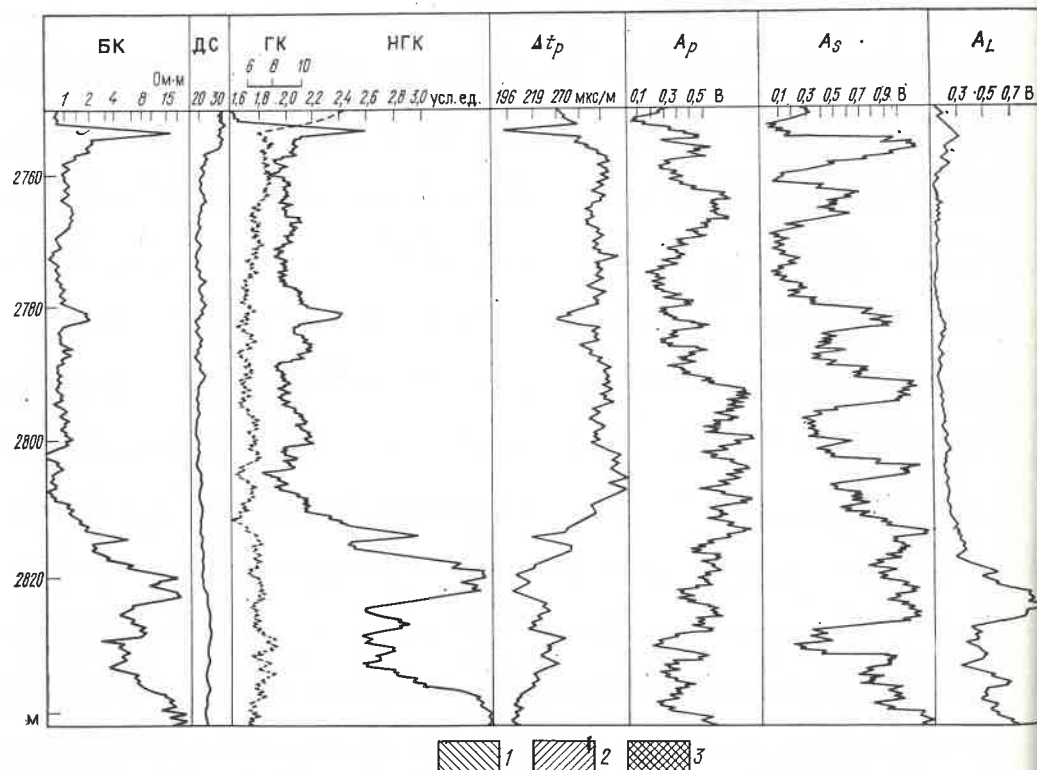


Рис. 3. Результаты комплексной интерпретации материалов ядерно-геофизических и геоакустических наблюдений при изучении сложно построенного карбонатного коллектора в условиях обсаженной скважины
1—3 — типы коллектора: 1 — трещинный, 2 — порово-трещинный, 3 — кавернозный

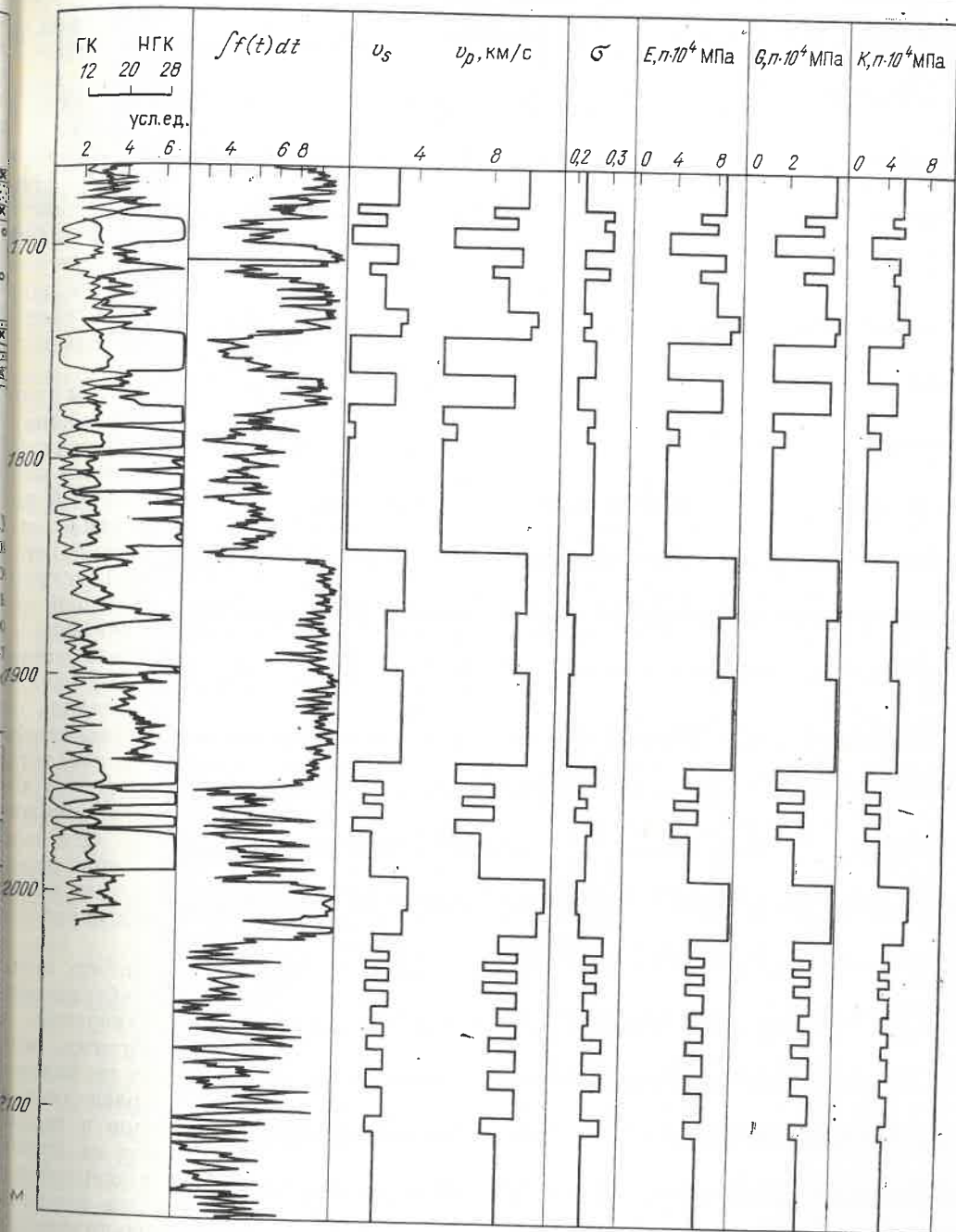


Рис. 4. Определение физико-механических свойств (v_p , v_s) и характеристик устойчивости нефтяного пласта (σ , E , G , K) по данным широкополосного АК в условиях глубокой скважины

пластке намного больше, чем в водонасыщенном, и интервалы кинжального затухания легко выявляются при интерпретации диаграмм.

Когда с нефтью контактирует слабоинерализованная или пресная вода, которой резко уменьшается содержание атомов хлора, существенно сни-

жается и эффективность применения нейтронных методов для разделения пластов по характеру их насыщения. В этих условиях на помощь приходит акустический каротаж с использованием динамических характеристик упругих (P и S) волн, прежде всего их амплитуды и коэффициентов затухания.

На основе теоретических расчетов и экспериментов установлено, что повышенное затухание P -волны имеет место в нефте- и особенно газоносных пластах по сравнению с водоносными. В СССР накоплен опыт выявления продуктивных пластов, обводненных пресными водами, по материалам широкополосного АК. Таким образом, комплекс импульсных нейтронных и акустических методов с успехом может быть применен для контроля за разработкой нефтяных и газовых месторождений и регулирования этого технологического процесса в условиях закачки в пласты как минерализованных, так и пресных вод.

Оценка устойчивости стволов глубоких и сверхглубоких скважин и окружающего массива горных пород чрезвычайно важна для всего процесса строительства скважин. Обрушение стенок может быть причиной серьезных осложнений и даже аварий при углублении скважин. Специфична эта проблема при исследовании эксплуатационных нефтяных и газовых скважин. Здесь в ряде случаев важно суметь оценить возможность эксплуатации скважины открытым забоем, т. е. без спуска на забой обсадной колонны и ее цементирования.

Чтобы решить эту задачу, нужно располагать информацией о динамических модулях упругости горных пород (модуле Юнга E , модуле сдвига G , коэффициенте Пуассона σ) и их напряженном состоянии. Такая оценка деформационно-упругих характеристик горных пород может быть сделана по материалам широкополосного АК в комплексе с ядерными геофизическими методами (рис. 4).

Определение качества цементирования глубоких скважин и степени надежности изоляции пластов. Цементирование скважины является завершающим этапом ее строительства. Некачественное цементирование может привести к нарушению изоляции затрубного пространства и возникнове-

нию гидродинамической связи между водоносными и нефтеносными пластами и пропластками. При этом водонамного более подвижная, чем вязкая нефть, будет первой поступать к перфорационным отверстиям в обсадной колонне, что может привести к ошибкам в оценке продуктивности пласта при разведке месторождения, а также высокой обводненности продукции при добыче. Имеется целый ряд методов промысловой геофизики, предназначенных для оценки качества крепления скважин.

При этом акустические методы дают исключительно важную информацию о степени жесткости механического контакта на границах цементного камня с обсадной колонной и горной породой. Акустика позволяет также выявлять наличие микрозазоров и переточных каналов в затрубном пространстве скважин. В качестве основной формационной характеристики используется амплитуда так называемой P -волны, распространяющейся по колонне, если последняя имеет жесткого контакта с цементным камнем. В случае жесткого контакта, т. е. при хорошем цементировании колонны, амплитуда этой волны снижается до нулевых значений. Отмечается, что акустическая цементметрия является одной из самых массовых областей применения акустики в народном хозяйстве.

Завершая наш краткий обзор методических возможностей нейтронной и геоакустических измерений в скважинах, необходимо обратить внимание на то, что советская геофизическая наука и практика располагает мощным арсеналом методов и технических средств, основанных на новейших достижениях общей и ядерной физики и предназначенных для решения сложнейших геолого-технологических проблем в экстремальных термодинамических условиях глубоких и сверхглубоких скважин.



РУДНОЕ И НЕРУДНОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

УДК 553.2.553.41 : 553.985

В. В. ЛЕВИЦКИЙ, Б. Г. ДЕМИН, П. М. ХРЕНОВ, Л. М. БАБУРИН,
Э. А. РАЗВОЗЖАЕВА (ВостСибНИИГГиМС)

Периодичность минеральных и металлоорганических соединений в процессах рудо- и нефтеобразования

В зависимости от эволюции тектонического режима и физико-химических условий рудообразующих гидротермальных систем (РГС), первоначальных концентраций металлов в глубинных флюидах, длительности процессов рудообразования и структурно-вещественных особенностей субстрата масштабы концентрации биогенных и абиогенных соединений углерода в них различны. В то же время исследования состава руд разнотипных РГС [3, 8, 11, 14, 15] указывают на закономерную последовательность (кварц, сульфиды, арсениды, селениды, теллуриды, золото, серебро, карбонаты) и близкие физико-химические условия продуктивных стадий минералообразования [7, 11].

Для выяснения общих причин последовательности минералообразования выполнен цикл исследований твердой, жидкой и летучей фаз руд разнотипных месторождений золота, изучен состав биогенных и абиогенных соединений углерода, проведен сравнительный анализ золото-углеродисто-сульфидно-кварцевых руд и металлоорганических соединений (МОС), а также физико-химических условий полиморфизма соединений углерода в процессах рудоотложения и преобразования тяжелых остатков нефтей [2, 3, 6, 7].

Методика термобарогеохимических, физико-химических, минералого-геохимических, структурных, изотопных, битуминологических исследований изложена в ряде работ, отражающих этапы изучения РГС в разновозрастных терригенных прогибах, зеленокаменных поясах и областях активизации на примерах Сибири, Африки и других регионов [3, 6].

Последовательность смены соединений в процессах рудообразования в соответствии с ростом атомного номера элемента впервые установлена при сравнительном анализе золото-углеро-

дисто-сульфидно-кварцевых руд типового поля Ленской провинции и металлоорганических соединений [6, 7]. Дальнейший цикл исследований проведен на большинстве рудных полей этой провинции и других регионов [6, 15]. Для выяснения причин указанной закономерности составлена схема периодической системы, в которой по вертикали элементы расположены в соответствии с возрастанием энергетических уровней (K, L, M, N, O) по группам, а по горизонтали — в соответствии с увеличением числа электронов на застраивающихся валентных орбиталях ($s^1, s^2, p^1, p^2, p^3, p^4, p^5, d^6, d^7, d^8, d^{10}, d^{10}$) по периодам.

Анализ распределения элементов, участвующих в составе золотообразующих комплексов, показывает, что периодичность соединения элементов в процессах гидротермального рудообразования происходит в соответствии с возрастанием порядкового номера элемента, заряда атома, числа электронов на заполненных и застраивающихся орбиталях, атомного объема, энтропии и стандартного электродного потенциала — главного показателя способности элемента к восстановлению.

Элементы, участвующие в составе золоторудных парагенезисов, образуют следующие постадийные ряды: 1) $^8O-^{14}Si, ^{16}S-^{26}Fe, ^{27}Co, ^{28}Ni, ^{29}Cu, ^{33}As-^{26}Fe, ^{27}Co; ^6C-^8O-^{26}Fe$; 2) $^8O-^{14}Si; ^{16}S-^{26}Fe, ^{27}Co, ^{28}Ni, ^{29}Cu, ^{30}Zn, ^{82}Pb, ^{83}Bi, ^{34}Se-^{29}Cu, ^{47}Ag; ^{51}Sb-^{47}Ag; ^{52}Te-^{47}Ag, ^{79}Au; ^6C-^8O-^{12}Mg, ^{20}Ca$; 3) $^8O-^{14}Si; ^{16}S-^{47}Ag, ^{82}Pb, ^{83}Bi; ^{51}Sb-^{47}Ag, ^{82}Pb; ^{52}Te-^{82}Pb, ^{83}Bi; ^{79}Au; ^6C-^8O-^{20}Ca$; 4) $^8O-^{14}Si, ^{20}Ca$.

В начале процесса рудообразования s -элемент— H соединяется с $2s$ -элементами: $^5B, ^6C, ^7N, ^8O$, в результате чего образуются углеводороды, углекислота, кислые газы, окислы, кислоты; затем $2s$ -элемент— 8O с $3s-^{11}Na$,

^{12}Mg ; $3p$ — ^{13}Al , ^{16}S , ^{17}Cl и $4s$ — ^{19}K , ^{20}Ca (окислы, силикаты, галогениды, битумоиды). Образование халькогенидов происходит при последовательном соединении $4s$ — ^{16}S с $3d4s$ -элементами: ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{29}Cu , ^{30}Zn (сульфиды); $4p$ — ^{33}As с ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni (арсениды); $4p$ — ^{34}Se с ^{29}Cu , ^{47}Ag (селениды); $5p$ — ^{51}Sb с ^{29}Cu , ^{47}Ag , ^{82}Pb , ^{83}Bi ; а $5p$ — ^{52}Te с ^{47}Ag и ^{79}Au (теллуриды).

Золото и серебро восстанавливаются до самородных после того, как более тяжелые элементы (^{82}Pb , ^{83}Bi), имеющие большой заряд, атомный объем и электроны которых расположены на более высоких уровнях, а следовательно, спариваются с электронами других элементов чаще, последовательно соединяются с ^{16}S , ^{33}As , ^{34}Se , ^{50}Sn , ^{51}Sb и, наконец, с ^{52}Te , отнимая последний у Ag и Au (масса которых меньше, но электросродство и стандартный электродный потенциал выше). В этом заключается одна из главных причин металлизации Au и Ag и выпадения их из растворов в конце продуктивных стадий в большинстве РГС мира. По этой же причине теллуриды свинца во многих РГС выпадают из растворов после теллуридов золота и серебра [6, 7].

Анализ разноглубинных систем позволил выявить закономерную смену элементов в направлении от глубинных к близповерхностным РГС. В связи с тем, что соединения продуктивных стадий образуются в близких интервалах температур (300 — 170° , 230 — 170°), но при различном давлении, от более глубинных к близповерхностным системам происходит замена элементов с меньшим порядковым номером элементами с большим порядковым номером и более сложной электронной конфигурацией: $3s^1$ — ^{11}Na — $4s^1$ — ^{19}K (альбит — адуляр); $3s^2$ — ^{12}Mg — $4s^2$ — ^{20}Ca (магнезит — кальцит); $3d^6$ — ^{26}Fe — $3d^7$ — ^{27}Co — $3d^8$ — ^{28}Ni — $3d^{10}$ — ^{29}Cu ; $3d^{10}$ — ^{30}Zn (пиритовая — полиметаллическая ассоциация); $5d^6$ — ^{74}W — $5d^{10}$ — ^{79}Au — $5d^{10}$ — ^{89}Hg (золото-шеелитовая — золото-киноварная ассоциация); $1s$ — ^1H — $2p^1$ — ^5B — $2p^2$ — ^6C — $2p^4$ — ^8O (турмалин — карбонаты, углеводороды — углекислота); $3p^4$ — ^{16}S — $3p^5$ — ^{17}Cl (сульфидные — хлоридные). Очевидно, давление является ведущим фактором в процессах рудообразования: в более

глубинных месторождениях доминируют соединения с более плотными упаковками и с более сильными связями (углеводороды, например, даже тройными связями).

О большем влиянии градиентов T , на процессы восстановления элементов до самородного состояния (их металлизацию) свидетельствуют и часто встречающиеся в рудных столбах брекчиевые структуры, участки повышенной трещиноватости, следы внутрирудных подвижек, также резкие перепады давления, приводящие к вскипанию и дегазации растворов с синхронной сменой CH_4 и CO_2 , высокой насыщенности CO_2 , резкому изменению pH и Eh и выпадению сульфидов и металлов из растворов [3, 6]. Важным фактором, способствующим образованию самородных Au и Ag , является восстанавливающая роль углеводородных соединений в процессах гидротермального рудообразования.

Роль соединений углерода освещена во многих работах, как правило, наиболее полно изучены сорбционные свойства преимущественно биогенных ОБ. В то же время сравнительный анализ золото-углеродистых, сульфидно-кварцевых руд и металлоорганических соединений (МОС) показал, что в процессах рудообразования важное значение имеют не только и столько сорбционные, сколько прочные химические связи Au и C [6, 7, 11]. Изотопные данные указывают на участие в рудном процессе как биогенных, так и абиогенных соединений C [7].

В ряде РГС сравнительно полно изучены хлоридные комплексы золото-разрушающих растворов. Однако данные о корреляции концентраций Au и C [6, 7, 11] свидетельствуют о не меньшей роли соединений C . Для выяснения этой роли проведен сравнительный анализ влияния Cl и C , химических соединений C с металлами в РГС и нефтегазоносных системах и при исследованиях МОС в паровой фазе и растворах. По данным Э. Кармелла [5], энергия ионизации (1086 кДж/моль) ниже, чем у углерода (1255 кДж/моль). Значения электроотрицательности для C 2,5, S 2,5, Cl 3,0. Сравнение для связей C и Cl с различными элементами

указывает на гораздо меньшую длину связей соединений с C , чем с Cl : $\text{Si}-\text{C}=189$, $\text{Si}-\text{Cl}=208$; $\text{As}-\text{C}$ в $\text{As}(\text{CH}_3)_3=196$, а $\text{As}-\text{Cl}$ в $\text{AsCl}_3=216$; $\text{O}-\text{Cl}$ в $\text{OCl}_2=170$; $\text{C}-\text{O}$ в $(\text{CH}_3)_2\text{O}=141$, а $\text{C}-\text{O}$ в $(\text{CH}_3)_2\text{CO}=122$; $\text{C}-\text{S}$ в $(\text{CH}_3)_2\text{S}=180$, а $\text{S}-\text{Cl}$ в $\text{SCl}=199$ пм. Ковалентный радиус атома $\text{C}=77$, $\text{Cl}=99$. Так как ион металла с большим размером и зарядом имеет большее перекрывание орбиталей, образование π -связей приводит к уменьшению расстояния металл — углерод.

О большем влиянии метильной и фенильной групп по сравнению с хлором свидетельствует и огромный материал по методам ЯМР. По величине констант взаимодействия металл — лиганд ряды трансвлияния лигандов в хорошо изученных комплексах олефинов Pd , Pt , Cu и Ag : $\text{Si} > \text{CH}_3 > \text{PR}_3 > \text{AsR} > \text{Py} > \text{Cl}$.

При изучении роли ОБ в гидротермальных процессах исследованы газовая, жидкая, твердая фазы ОБ, битумоидная и нерастворимая составляющая (НОВ).

В составе газов, извлеченных из золотых разнотипных РГС, кроме CO_2 (70—95 %), CO (3—20 %), N_2 (1,5—2 %), CH_4 (1—5 %), ранее установленных Н. В. Петровской [11], нами определены, этан, пропан, изобутан, н-бутан, трансбутан и пентен [7, 6, 3]. На большинстве РГС в составе газовой фазы кварцев на нижних горизонтах доминируют ОБ, на средних и верхних — CO_2 [7]. Распределение ОБ по возрастанию РГС во многом зависит от диффузионно-фильтрационной способности вмещающих пород и весьма сходно с изменением их концентраций в нефтегазоносных комплексах. Установлено закономерное уменьшение концентрации ОБ от подсольевых к надсольевым нефтегазоносным комплексам от подрудных к надрудным горизонтам РГС [7, 2, 3].

Битумоидная и нерастворимая составляющие ОБ — главные концентраты МОС. В нерастворимой части ОБ руд разноглубинных РГС (коларского, йеллоунайфского, бодайбинского, куранахского, неждановского и других типов) в концентратах различной степени обогащенности $\text{C}_{\text{орг}}$ установлены корреляционные связи $\text{C}_{\text{орг}}$ —

$\text{Au}-\text{Fe}$ [2], что позволяет рассматривать НОВ как карбены, содержащие МОС.

Учитывая широкое распространение битумоидов в нефтегазоносных и рудообразующих системах, проведено изучение их группового состава и распределения Au в генетическом ряду ОБ — смолы — асфальтены. В исходных пробах околорудно-измененных углеродсодержащих сланцев типовой РГС [7] $\text{C}_{\text{орг}}$ составляло 0,3—1,3, S 0,33, As 0,008 % и Au 0,1—1,0 усл. ед.; в кварц-пиритовых агрегатах — $\text{C}_{\text{орг}}$ 0,34, S 13,5, As 0,3 % и Au — 59,4 усл. ед.; в арсенопиритах — $\text{C}_{\text{орг}}$ 0,25, As 29,0, S 14,6 % и Au — 4,3 усл. ед. В хлор-бензолных битумоидах, извлеченных из пиритов, доля Au от общего Au в битумоидах составляет (в %): в асфальтеновых кислотах 60—50, в смолах 10—15, в ОБ 40—45 и асфальтенах 5. В ХБ из арсенопиритов соответственно 8,0; 44,0; 33,0 и 17,0 %. Подобное распределение Au и в групповом составе спиртобензолных битумоидов.

Концентрации Au в асфальтенах и асфальтеновых кислотах в 2—3 раза выше, чем в спиртобензолных смолах; в 5—6 раз, чем в бензолных смолах, и на порядок — чем в ОБ. Выявление повышенных концентраций Au в асфальтенах (5—15 г/т) и кислотах (5—20 г/т) позволяет считать их главными концентраторами Au в групповом составе битумоидов [2].

Изучение распределения Au в нерастворимом ОБ и битумоидах, извлеченных из FeS_2 , FeAsS , PbS , SiO_2 разнотипных РГС, залегающих в разновозрастных углеродсодержащих терригенных толщах и зеленокаменных поясах, позволило установить, что биогенные и абиогенные C , O , H , S и их высокомолекулярные гетероциклические соединения определяют не столько сорбционные, сколько прочные химические связи с металлами [6].

Так как смолисто-асфальтеновая часть ОБ и НОВ рудо- и нефтеобразующих систем являются главными концентраторами МОС, проведено сопоставление их состава с физико-химическими условиями преобразования. Изучение асфальтенов сернистых и бессернистых нефтей методами ЯМР, ЭПР, ПМР, ИК и масс-спектрологии показало, что они состоят из полисо-

пряженных фрагментов, устойчивых к окислению поликонденсированных ароматических структур, которые в отличие от высокомолекулярных УВ включают и гетероатомные связи —C—O—, —C—S—, —C—N—, порфирины V, Ni, Co, Mn, Al и др., а молекулы их являются продуктами конденсации двух-трех и более молекул смол [12]. V-Ni порфирины связывают трехмерную структуру асфальтенов нефтей, а Au-Fe порфириновые комплексы — асфальтенов золотосодержащих руд [2].

Сходство физико-химических условий преобразования ОВ нефтей и рудообразования устанавливается при анализе данных пиролиза асфальтенов и смол нефтей, керогена углеродсодержащих толщ, золота и золото-сульфидно-углеродисто-кварцевых руд [7].

При пиролизе асфальтенов в ступенчато-изотермическом режиме по процессу «Добен» [12] при 75° отщепляются алкильные заместители (C₁—C₆, бензол, циклогексан), при 250° — группы гетеропроизводных ОВ, при 300—350° — основные группы с массой 100 (фрагменты алкилбензтиазолов и алкилтиофенов), при 350° — основная часть алифатических заместителей конденсированных ядер — короткие цепочки нормального строения (C₁—C₁₃, меньше C₄, C₅), а после 380° наступает общая деструкция. У смол в связи с меньшей термоустойчивостью ионы гетероатомных соединений появляются, начиная со 100°, алкилнафталинов, алкилфенантронов и дитионафенов при 225° (здесь же ионы HS и H₂S); после 300° качественный состав продуктов пиролиза смол и асфальтенов одинаков.

Следовательно, температурные интервалы максимумов отщепления алифатических, ароматических и порфириновых комплексов (75—100°, 225—250°, 320—340°) близки к главным пикам T энантиотропных превращений SiO₂ и H₂O в гидротермальных системах [3], при которых за счет перепада давлений происходит импульсное изменение кислотности рудоносных растворов, что совместно с дегазацией CO₂, N₂, УВ, а также синхронной сменной CH₄ на CO₂ определяет основные условия, закономерную периодичность и последовательность образования

SiO₂ → сульфиды → карбонаты; сульфиды → арсениды → селениды → теллуриды; распад МОС и образование самородных Au, Ag [7].

Суммарный процесс окисления асфальтенов идет по схеме: парафин-циклопарафиновые моноциклические УВ → конденсированные бициклоароматические УВ → поликонденсированные ароматические УВ → смолы → асфальтены → карбены и карбоиды [12].

Генетическим мостом высокомолекулярных УВ и асфальтенов в нефтяных рудах, сланцах, вулканитах являются смолы. Они наследуют углеродный скелет УВ за счет гетероатомов — S, O (как в поликонденсированных структурах, так и в алифатических почках) и особенно за счет их функциональных групп имеют более высокую (и многообразную по направлениям) реакционную способность в разрыве связей —C—OH, —C—S—, —C—O—C—, —C—S—C—, —C—N—, —C—металл и др.

В то время как УВ в процессе рудоотложения большей частью расходуются на образование CO₂, H₂S, H₂O, критические концентрации в растворах при пороговых T (350, 330°, 225—250°, 170—100°) приводят к асфальтенообразованию.

Исследованиями полициклических ароматических УВ в базальтоидных минеральных соединениях РГС (Н. В. Флоровской) установлена для алкилнафталинов, алкилфенантронов, в меньшей мере — пирена, дифенила, 3,4-бензпирена, которые также ответственны за смоло- и асфальтенообразование в ряду с HCl, H₂S, H₂Te за возникновение МОС.

Таким образом, исследования группового состава битумоидов показывают, что максимальное количество МОС концентрируется в асфальтеновых минералах, так и при образовании асфальтенов в порфириновых концентраторах МОС являются порфирины.

Исследования металлопорфиринов и металлофталоцианидов (по данным М. Р. Тансевич, Б. А. Радюшкиной) показывают, что их кинетическая устойчивость комплексами Au (III). Так, по данным в ряду ²⁶Fe (III) > ²⁸Ni (III) > ²⁹Cu (II) > ³⁰Zn (II). Введение талла в порфирины приводит к у

меньшению отрицательного заряда порфиринового кольца в ряду ²⁸Ni < ²⁹Cu < ³⁰Zn.

Реакции разложения органических и неорганических соединений также зависят от типа металла в металлофталоцианинах, коррелируясь с их порядковым номером и электроотрицательностью. Для полимерных фталоцианинов активность уменьшается в ряду: ²⁶Fe > ⁷⁷Os > ⁷⁸Pt; ²⁶Fe > ²⁷Co > ²⁸Ni > ²⁹Cu. Эти данные подтверждают выявленную периодичность соединений элементов в гидротермальных системах и указывают на ее значение при образовании МОС.

Обнаружение концентраций Au в смолах и УВ свидетельствует о том, что МОС локализованы не только в порфиринах асфальтенов. ИК-спектрокопией битумоидов из PbS, FeS₂, SiO₂ золоторудных, полиметаллических и редкоземельных РГС установлено наличие эфиров карбоновых кислот [2, 7]. Выявление CO₂ в золоте, сульфиде и кварцах, эфирных групп битумоидах, извлеченных из PbS, FeS₂, SiO₂, гидроксильных, карбонильных, карбоксильных групп и гетероатомов в ОВ кварцев показывает, что концентрация МОС в асфальтенах обуславливают не только порфирины, но и кислородсодержащие группы. Очевидно, карбонильные, карбоксильные и гидроксильные группы после осаждения сульфидов и металлов расходуются на образование карбонатов, завершающих как отдельные стадии минералообразования, так и рудный процесс в целом.

Исследования МОС, используемых при осаждении металлов из паровой фазы и из растворов [10], реакций с МОС и различных рядов трансгруппового состава битумоидов влияния лигандов показали, что как в природных РГС при соединении элементов в минералы, так и при образовании асфальтенов МОС действует закон периодичности, который относится и к центральному атому МОС — металлу, и к лигандам.

Наиболее важно установление рядов влияния для комплексов Pt (II), которые, как известно, изоэлектронны комплексами Au (III). Так, по данным в ряду (CIL)₂Pt: ²⁶Fe (III) > ²⁸Ni (III) > ²⁹Cu (II) > ³⁰Zn (II). Введение талла в порфирины приводит к у

аналогичный ряд, который образуют анионы в рудообразующих комплексах: ¹⁶S > ³³As > ³⁴Se > ⁵¹Sb > ⁵²Te (сульфиды — арсениды — селениды — антимониды — теллуриды).

Донорные свойства МОС элементов V группы уменьшаются в ряду: ^{2p}3 < ⁷N < ^{3p}3 < ¹⁵P < ^{4p}3 < ³³As < ^{5p}3 < ⁵¹Sb < ^{6p}3 < ⁸³Bi [10], что согласуется с последовательностью минералообразования в РГС.

При термораспаде МОС в число образующих олефинов наряду с α-олефинами входят цис-, транс- и β-изомеры. При этом, транс-изомер преобладает над цис-изомером в связи с большей устойчивостью [10]. Исследования газовой фазы гидротермальных систем свидетельствуют об аналогичном преобладании трансбутана над цисбутаном в кварц-пиритовых рудах в два раза, а в золото-кварц-полиметаллических — в 10 и более раз [7]. На важную роль УВ в переносе металлов в природных системах указывают данные изучения вулканических газов, в которых установлено большое число изомеров УВ (до гексана включительно); совместно с другими газами они выносят 1/5 часть мышьяка, 1/3 сурьмы и 0,1 % золота и серебра [7].

Краткий сравнительный анализ данных координационной химии и кристаллохимии, поведения МОС в руде и нефтеобразующих системах позволяют говорить о том, что синхронность и близость ТР-условий полиморфизма H₂O, SiO₂, ОВ и деструкций МОС подчинены закономерной периодичности, подобной периодичности соединения элементов в процессах гидротермального рудообразования.

Постатийная синхронность полиморфизма силикатной, сульфидной и органической составляющих руд хорошо изучена на примере Славянского месторождения [1], где рудообразование происходило при последовательной смене высоко-, средне- и низкотемпературных режимов (таблица).

Другим примером влияния соединений углерода на процессы эндогенного рудообразования могут служить массивы редкометальных гранитов Северо-Восточной Африки и Сибири, в которых установлено последовательное возрастание газонасыщенности и кон-

Стадии рудообразования
Славянского месторождения

Стадия	Температура, °C	Продукты образования
I	450—350	SiO ₂ , CaF ₂ , турмалин, топаз, графит, высшие антраксолиты
II	350—170	SiO ₂ , FeS ₂ , MoS ₂ , высшие кериты
III	230—170	SiO ₂ — II, CaF ₂ — II, PbS, ZnS, FeCO ₃ , низшие кериты
IV	200—40	SiO ₂ , CaF ₂ , HgS, CaCO ₃ , асфальтиты, элатериты

центраций УВ от глубинных уровней, представленных слабо измененными гранитами, к апикальным частям интрузивов, сложенным альбитизированными фациями с Ta-Nb минерализацией. В грейзеновых и кварцево-жильных телах надинтрузивной зоны количество УВ резко снижается, а CO₂ — возрастает. Значения коэффициентов УВ/CO₂ увеличиваются от неизменных гранитов агпаитового или плюмазового ряда (0,05—0,1) к рудоносным кварц-альбитовым фациям (2,5—3,7) и резко снижаются в приконтактовой кварцевой зоне штокшайдера, в эндо- и экзогрейзенах и кварцево-жильных телах, венчающих колонну (0,03).

Соотношения Н:С:N:О в газовой фазе РГС редкометальных гранитоидов свидетельствуют о восстановительных условиях минералообразования, что связано с большей закрытостью систем и близостью их к магматическим очагам по сравнению с гидротермальными золотообразующими растворами, пути миграции которых более удалены от рудогенерирующих очагов. Насыщенность флюидов в данных системах свидетельствует о важной роли последних в переносе металлов, формировании зон рудоносных метасоматитов и концентрации олова и тантала [3].

Анализ поведения асфальтенов, смол, УВ, CO₂ в процессах рудообразования и МОС в паровой фазе и растворах указывает на универсальные свойства и механизм строения асфальтенов и их двойную роль в природных системах. В процессах нефтеобразова-

ния МОС определяют сернистость, количество асфальтено-смолистой части, термоустойчивость, миграцию УВ, насыщенность парафинами, а при рудообразовании — скорость реакций обмена и замещения, степень концентрации, пути миграции металлов, периодичность и стадийность минералообразования. Универсальность затрудненной структуры асфальтенов позволяет ей включать гетероатомные и полиметалло-сероорганические комплексы в упорядоченном состоянии в свои длинные сопряженные цепи, способные удерживать металлы и в порфиринах между молекулами смол, и в алифатических цепочках, и в заместителях. Это обуславливает миграцию металлов в разнотипных физико-химических средах полигенных РГС (начиная от металлобитумных ассоциаций при диатризе до МОС в рудно-магматических и нефтеобразующих системах) и сохранность их в битумоидах и НОВ руд. Этим во многом объясняется размещение месторождений Au в разнотипных, разнотипных и разновозрастных геотектонических обстановках.

Свойства МОС асфальтенов, асфальтеновых кислот, смол (в сочетании сопряженными системами — H₂O, SiO₂, NaCl, CO₂, нефть) моделировать электронные устройства наподобие нуклеиновых кислот и передавать энергию возбуждения [10] по своим разветвленным цепочкам определяют последовательный отрыв радикалов, что во многом способствует универсальной периодичности соединений в процессах рудообразования [2].

Близость физико-химических и условий преобразования H₂O, SiO₂, битумоидов и НОВ в РГС и преобразования смол — асфальтенов нефти свидетельствует о единстве и связующей роли асфальтенов в органическом и минеральном мире. Очевидно, ДНК и РНК обуславливают эволюцию и поведение продуктов живой материи, так и степень координации органических лигандов МОС в природных рудно-магматических, гидротермальных, нефтеобразующих системах предопределяет кинетические характеристики реакций обмена и замещения, полимеризацию H₂O, ОВ, SiO₂, генерацию УВ и CO₂, а также последовательность минералообразования.

Периодичность минералообразования в разнотипных рудообразующих системах. Следующий цикл исследований включал анализ последовательности минералообразования других типов эндогенного оруденения на месторождениях U, Bi, Pb, Hg, Sn, Zn, Cu, Ni, Co, Fe с использованием сводных работ по геологии рудных месторождений [14, 12].

В месторождениях U рассмотрены пятиэлементная, сульфидно-настурановая и Ti-U формации. В детально изученной пятиэлементной формации установлена такая последовательность минералообразования: силикатно-окисная, кварц-сульфидная, кварц-карбонат-настурановая, флюорит-арсенидная и кварц-гематитовая ассоциации [14]; в Мо-U месторождениях (по Н. П. Лаврову и В. И. Данчеву): 1) SiO₂, сульфиды ²⁶Fe, ³⁰Zn, ⁴²Mo, ⁸³Bi; 2) SiO₂, сульфиды ²⁶Fe, ³⁰Zn, ⁴²Mo, ⁸²Pb, уранинит, коффинит; в браннеритовых месторождениях Ti-U формации: 1) SiO₂, FeS₂, адуляр; 2) SiO₂, Cu₅FeS₃; 3) карбонат, пирит, браннерит; 4) кварц, флюорит, карбонат. Подобная последовательность отмечается и в стратиформных гидротермальных месторождениях U, где нередко присутствует Au. Общей закономерностью в системах является повторяющаяся в большинстве стадий последовательность: кварц — сульфиды — карбонаты, выпадение минералов U в конце процесса и присутствие самородных Ag, Bi или Au. Специфична и периодичность элементов, образующих минералы U: ⁶C, ⁸O, ¹⁴Si, ¹⁵P, ¹⁶S, ²²Ti, ²³V, ³³As, ⁴¹Nb, ⁹⁰Th, ⁷³Ta.

В колчеданно-полиметаллических, медноколчеданных и полиметаллических месторождениях [14] выделяются: серноколчеданная, медноколчеданная, медно-цинковая, полиметаллическая, свинцово-цинковая и серебро-золото-барит-полиметаллическая стадии. Общая для этого типа периодичность элементов образует ряды: 1) ¹⁴Si—⁸O; 2) ¹⁶S—²⁶Fe, ²⁹Cu; 3) ¹⁴Si—⁸O, ¹⁶S—²⁹Cu, ³⁰Zn; 4—6) ¹⁶S—³⁰Zn, ⁸²Pb, ⁴⁷Ag—⁷⁹Au; 1—6) ¹⁶S—⁵¹Sb, ¹⁴Si—⁸O—⁵⁶Ba. Весьма закономерно более позднее выделение минералов ⁸²Pb по отношению к минералам ⁵¹Sb в системе ⁸²Pb—⁵¹Sb—¹⁶S, исследованные Ю. А. Бородаевым на более 30 свин-

цово-цинковых и свинцово-сурьмяных месторождениях.

На рассмотренном выше Славянском месторождении ртуты [1] синхронно с изменением P, T и полиморфизмом H₂O, SiO₂, ОВ элементы образуют следующий постадийный ряд: 1) ¹⁶S—²⁶Fe, ⁴²Mo; 2) ¹⁶S—²⁶Fe, ³⁰Zn, ⁸²Pb; 3) ¹⁶S—²⁶Fe, ⁸⁰Hg; 1—4) ¹⁴Si—⁸O, ²⁰Ca—⁹F. На месторождениях известной Sb-Hg формации антимонит, как правило, кристаллизуется ранее кинвари: ⁵¹Sb—⁸⁰Hg.

Весьма устойчиво закон периодичности проявлен в процессах образования месторождений олова (последовательность минералообразования принята по В. В. Онихимовскому, Б. Л. Флерову): 1) ¹⁴Si—⁸O—⁵B—⁸O—⁵⁰Sn; 2) ¹⁴Si—⁸O—⁵B—⁸O—⁵⁰Sn—⁸³Bi; ⁷⁴W—⁸O; 3) ¹⁶O—²⁶Fe—³³As—⁴⁷Ag—³³As; 4) ¹⁶S—²⁶Fe, ²⁹Cu, ³⁰Zn, ⁸²Pb, ⁸³Bi.

Закон периодичности очевидно проявлен и в процессах магматогенного рудообразования. Так, в Cu-Ni-Pt и Cu-Pt месторождениях, связанных с дифференцированными габбро-норитовыми массивами, главные рудообразующие сульфиды кристаллизуются позже титан-магнетитовых руд, а затем — минералы тяжелых металлов: ⁸O—²²Ti, ²⁶Fe; ¹⁶S—²⁶Fe, ²⁷Ni, ²⁸Co, ²⁹Cu, ⁴⁶Pd, ⁷⁸Pt; ³³As—⁴⁶Pd, ⁷⁹Pt; ⁵²Fe—⁴⁶Pd, ⁴⁷Ag, ⁷⁹Au; в ряде систем после минералов ⁴⁶Pd — интерметаллиды и твердые растворы ⁵⁰Sn в ⁴⁶Pd, ⁷⁹Pt (по Дистлеру).

Периодичность соединений элементов проявлена и на ряде месторождений с многоэтапным оруденением. Примером может служить описанное В. И. Смирновым [14] месторождение Панаскуэйра. I этап: 1) SiO₂, SnO₂, турмалин; 2) SiO₂, FeMnWO₄; 3) FeS₂, FeAsS₂, Sb₂S₃, CuFeS₂, PbS; II этап: SiO₂—PbS. Закон периодичности проявлен здесь рядами: 1) ¹⁴Si—⁸O—⁵⁰Sn; 2) ¹⁴Si—⁸O—⁷⁴W; 3) ¹⁶S—²⁶Fe, ²⁹Cu, ⁵¹Sb, ⁸²Pb; II) ¹⁴Si—⁸O, ¹⁶S—⁸²Pb.

В эволюции образования скарновых месторождений [14] выделяются фазы кремнистого, алюмосиликатного, галлоидного, железного, мышьяково-серного, железо-медного и свинцово-цинкового метасоматоза. Последовательность соединения элементов в этом многостадийном процессе происходит в соответствии с ростом их атомного но-

мера: ^{14}Si , $^{13}\text{Al} \rightarrow ^{14}\text{Si}$, ^{17}Cl , ^{26}Fe , $^{16}\text{S} \rightarrow ^{33}\text{As}$, $^{26}\text{Fe} \rightarrow ^{29}\text{Cu}$, $^{30}\text{Zn} \rightarrow ^{82}\text{Pb}$.

В типовом грейзеновом месторождении Казахстана [14] элементы образуют следующие ряды: 1) $^8\text{O} \rightarrow ^{13}\text{Al}$, ^{14}Si ; 2) $^8\text{O} \rightarrow ^{14}\text{Si}$, ^{50}Sn ; 3) $^8\text{O} \rightarrow ^{14}\text{Si}$, $^{16}\text{S} \rightarrow ^{42}\text{Mo}$; 4) $^8\text{O} \rightarrow ^{14}\text{Si}$, ^{74}W ; 5) $^8\text{O} \rightarrow ^{14}\text{Si}$, $^{16}\text{S} \rightarrow ^{26}\text{Fe}$, ^{29}Cu , ^{30}Zn , ^{83}Bi ; 6) $^8\text{O} \rightarrow ^{14}\text{Si}$, $^9\text{F} \rightarrow ^{20}\text{Ca}$.

Одним из наиболее наглядных примеров периодичности в пространственном распределении парагенезисов является детально изученное Корнуоллское месторождение, на котором по восстанию происходит смена анионов $^8\text{O} \rightarrow ^{16}\text{S} \rightarrow ^8\text{O}$, оксифильных ($^{50}\text{Sn} \rightarrow ^{74}\text{W} \rightarrow ^{92}\text{U}$) и сульфурфильных ($^{26}\text{Fe} \rightarrow ^{29}\text{Cu} \rightarrow ^{30}\text{Zn} \rightarrow ^{82}\text{Pb}$) металлов.

Анализ последовательности минералообразования в разнотипных эндогенных системах позволяет выделить ряд общих особенностей формирования оруденения. В начальные стадии рудных процессов доминирующим анионом является ^8O , который, соединяясь с ^{11}Na , ^{12}Mg , ^{14}Si , ^{19}K , ^{20}Ca , образует жильные, а с ^{22}Ti , ^{26}Fe , ^{50}Sn , ^{74}W — рудные (в гидротермальных системах — окислы ^{14}Si , в магматогенных — ^{22}Ti , ^{26}Fe) минералы. В средние стадии первоначально доминируют ^{16}S , ^{33}As , затем проявляют активность и ^{34}Se , ^{51}Sb ; в поздние — ^{51}Sb , ^{52}Te и вновь ^8O , а в завершающие ^8O и в ряде систем (^{92}U , ^{74}W , ^{50}Sn) сменяющий его ^9F .

Закон периодичности наиболее отчетливо проявляется при формировании минеральных ассоциаций каждой стадии, а на ряде месторождений охватывает в целом рудный этап.

Анализ физико-химических условий образования разнотипных месторождений показывает, что оксифильные (Si, Ca, Fe) и сульфурфильные (Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) сквозные элементы образуют соединения в широких диапазонах T и P , а другие (селениды, теллуриды, самородные) — кристаллизуются при строго определенных T и P , например, Au в большинстве РГС при $170-230^\circ$, MoS_2 — $350-400^\circ$. В жидкой фазе SiO_2 с Au доминируют $-\text{Cl}$ и $-\text{HCO}_3$, со Sn, Ta, Nb — $-\text{F}$, с U — $-\text{HCO}_3$. Ряд металлов, как мы видели выше, транслируется в виде металлоорганических соединений в молекулах смол и асфальтенов. В газовой фазе SiO_2 с $\text{Au} - \text{CO}_2 > \text{N}_2 > \text{CH}_4$, в Cu-Pb-Zn кол-

леданах — H_2S , $\text{CH}_4 > \text{CO}_2 > \text{N}_2$, в редкометалльных — $\text{CH}_4 > \text{N}_2 > \text{CO}_2$.

Состав летучих во многом зависит от концентраций и сульфидов. Из высококонцентрированных растворов сульфиды Fe, Cu, Zn, Pb отлагаются и при низких температурах ($150-180^\circ$); а из слабоконцентрированных при $150-450^\circ$. В последнем случае на минералообразование больше влияют длительность рудообразующих процессов, дегазация, pH, Eh, в гидротермально-плутоногенных — перепады давлений и менее — температур, а в вулканогенно-осадочных — перепады температур и менее — давлений.

Все эти факторы определяют различные масштабы и соотношения силикатной, сульфидной, карбонатной, металлической и битумоидной составляющих руд. В то же время в разнотипных системах (в том числе полигенных и полихромных) существует устойчивая последовательность минералообразования. В начальные стадии рудного процесса кристаллизуются окислы ^{14}Si , ^{22}Ti , ^{23}V , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{50}Sn , ^{74}W , в средние — сульфиды ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{28}Ni , ^{29}Cu , ^{30}Zn , ^{82}Pb , ^{83}Bi ; арсениды, селениды, антимониды, в поздние — теллуриды, интерметаллиды и самородные Pt, Ag, Au, Bi, а в завершающие — карбонаты, сульфаты, флюорит и сложные сульфосоли с большой молекулярной массой.

Очевидно, главным фактором последовательности минералообразования во всех системах является заряд (Z), атомная масса и объем, электронная конфигурация, энтропия (S^0_{298}) и валентное состояние самого элемента. Элементы с большей энтропией (как главной энергетической мерой степени неупорядоченности и способностью к рассеянию и миграции) находятся в растворах и расплавах дольше, и их соединения кристаллизуются позже. Рост энтропии по группам периодической системы происходит закономерно с возрастанием Z [9]: в s^1 -элементах — ^1H , ^{11}Na , ^{19}K , ^{37}Rb , ^{55}Cs ; в s^2 — ^{12}Mg , ^{20}Ca , ^{56}Ba (анкерит — кальцит — барит); в p^2 — ^6C , ^{14}Si , ^{50}Sn , ^{82}Pb ; в p^3 — ^7N , ^{51}Sb — ^{83}Bi ; в p^4 — ^8O , ^{16}S , ^{34}Se , ^{52}Te ; в d^4 — ^{24}Cr , ^{42}Mo , ^{74}W . Однако рост энтропии в периодах системы происходит от элементов, разделяющих оксифильные и сульфурфильные. Минимумы S^0_{298} по периодам имеют: $2p^2$ — ^6C , $3p^2$ — ^{14}Si , $3d^5 4s^1$ — ^{24}Cr , $4s^2 4p^2$ — ^{32}Ge , $4d^5 5s^1$ — ^{42}Mo , $5s^2 5p^2$ — ^{50}Sn , $5d^1 6s^2$ — ^{64}Gd , $5d^4 6s^2$ — ^{74}W , $5d^6 6s^2$ — ^{76}Os , $6s^2 6p^2$ — ^{83}Bi , $6d^1 7s^2$ — ^{92}U . Влево и вправо от этих минимумов в пределах периода располагаются элементы, обладающие большими миграционными способностями. Максимумы S^0_{298} приходятся на ^9F , который обычно завершает рудный процесс, ^{11}Na и ^{17}Cl (находятся в виде NaCl во включениях).

Выявленные закономерности периодичности соединения элементов в процессах рудо- и нефтеобразования, возникновения распада металлоорганических соединений, синхронности полиморфизма H_2O , SiO_2 , OB , определяющей роли градиентов давления на состав руд и зональность разнотипных РГС имеют не только теоретическое, но и важное прикладное значение при изучении стадийности, зональности, поисках и оценке разнотипного эндогенного оруденения.

Эти закономерности позволяют рекомендовать следующий комплекс методов при изучении флюидного режима, газовой, геохимической и эндогенной зональности, определения глубинности, уровня эрозийного среза РГС.

1. Изучение стадийности минералообразования, включая изучение минеральных фаз в составе сульфидов, арсенидов, селенидов, теллуридов. Во многих РГС, где по восстанию развита преимущественно пиритовая минерализация, выявление минеральных фаз (сульфосолой, селенидов, теллуридов) позволит в комплексе со структурными и физико-химическими критериями и применением варианта периодической системы уточнить положение верхних, средних и нижних уровней рудных зон.

2. Определение газонасыщенности, водонасыщенности, окислительно-восстановительных коэффициентов CO_2/CH_4 , $\text{CO}_2/\text{УВ} + \text{H}_2$ (при вакуумном вскрытии пород) и $\text{CO}_2/\text{УВ} + \text{CO}$ (при термовакуумном), соотношения $\text{H}:\text{C}:\text{N}:\text{O}$ методами газовой хроматографии, декрептоактивности кварцев, сульфидов, отношений Pb/Zn , Co/Ni , $\text{Au}-\text{Ag}$, Sb/Hg как главных показателей надрудных и подрудных зон и для отличия центральных частей РГС от фланговых.

3. Нанесение коэффициентов $\text{CO}_2/\text{УВ}$, соотношения $\text{H}:\text{C}:\text{N}:\text{O}$, газонасыщенности, водонасыщенности, Pb/Zn , $\text{Au}-\text{Ag}$, Co/Ni , Sb/Hg , Na/K , асфальтеновые кислоты/асфальтены, $\text{УВ}/\text{смол}/\text{асфальтены}$, C/H , спиртобензольные смолы/бензольные смолы на палеотемпературные схемы зональности, построенные по данным гомогенизации включений, позволит подойти к построению геолого-физико-химических моделей разнотипных РГС с определением склонения рудоносных потоков.

4. Определение соотношения $\text{УВ}/\text{смол}/\text{асфальтенов}$, C/H , $\text{ХБ}/\text{СББ}$, гетероатомов ($\text{N}+\text{S}+\text{O}$) в групповом составе битумоидов методами люминесцентной битуминологии, ИК-спектроскопии и тонкослойной хроматографии. Определение концентрации Au, Ag, других рудных элементов в групповом составе битумоидов и в НОВ руд и микроэлементов в смолисто-асфальтеновой части нефтей.

Изучение распределения УВ , минеральной и термобарогеохимической зональности, пористости и проницаемости пород в надрудных, рудных и подрудных горизонтах типовых РГС, надсолевых и подсолевых нефтегазоносных комплексах. Наконец, определение МОС порфиринов, смол, УВ методами ЭПР, ЯМР совместно с изотопным анализом $\delta^{13}\text{C}$ позволит уточнить формы переноса, источники, пути миграции металлов и, возможно, природу соединений углерода.

Дальнейшее развитие физико-химической геологии с определением термодинамических параметров образования и концентрации вещества и с построением геолого-физико-химических моделей типовых РГС будет содействовать разработке надежных количественных критериев разномасштабного прогноза оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева Н. И., Шабо З. В. Геохимические особенности образования углеродистых соединений Славянского рудопроявления. — В кн.: Тр. Ин-та геохимии АН СССР. М., Наука, 1981, с. 333—335.
2. Асфальтены нефтей и золотых руд — концентраты металлоорганических соединений/В. В. Левицкий, Э. А. Развозжаева, П. М. Хренов и др. — Докл. АН СССР, 1983, т. 270, № 1, с. 196—199.

3. Геохимические параметры и физико-химические условия формирования гидротермальных систем/Л. М. Бабурин, Б. Г. Демин, В. В. Левицкий и др. — В кн.: Тезисы докл. VI Междунар. симпозиума по рудообразованию. Тбилиси, 1982, с. 10—11.
4. Желиговская И. А. О количественной характеристике трансвлияния. — В кн.: Трансвлияние в химии координационных соединений. М., Наука, 1979, с. 36—64.
5. Кармелл Э., Фоулс Г. В.-А. Валентность и строение молекул. М.; Химия, 1979.
6. Левицкий В. В., Викулова Л. П., Демин Б. Г. Сравнительный анализ золото-улеродисто-сульфидно-кварцевых руд и металлоорганических соединений. — Докл. АН СССР, 1980, т. 225, № 6, с. 1471—1474.
7. Левицкий В. В., Демин Б. Г. Газовый состав включений — индикатор эрозийного среза гидротермальных месторождений. — Сов. геология, 1981, № 3, с. 104—122.
8. Левицкий В. В. Периодичность элементов и соединений в золотообразующих гидротермальных системах. — Докл. АН СССР, 1982, т. 266, № 4, с. 1003—1007.
9. Маракушев Н. А. Петрогенез и рудообразование. М., Наука, 1979.
10. Металлоорганические соединения в электронике/Г. А. Разуваев, Б. Г. Грибов, Г. А. Домрачев, Б. А. Саламатин. М., Наука, 1972.
11. Петровская Н. В. Самородное золото. М., Наука, 1973.
12. Сергиенко С. Р., Таимова Б. А., Талалаев Е. И. Высокомолекулярные углеводородные компоненты нефтей. М., Наука, 1979.
13. Слободский Р. М. Элементоорганические соединения в магматогенных и рудообразующих процессах. Новосибирск, Наука, 1981.
14. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., Наука, 1983.
15. Шер С. Д. Металлогения золота. М., Наука, 1977.

УДК 553.21 : 553.41

А. А. СИДОРОВ (ЦНИГРИ)

Группы золотоносных рудных формаций

Разделение эндогенных месторождений на собственно магматические и гидротермальные общепризнано и является основой любой систематики рудных формаций. Образование гидротермальных месторождений контролируется тремя важнейшими геологическими процессами: вулканизмом, плутономизмом и метаморфизмом. Эти процессы, будучи взаимосвязанными, обладают четко выраженными особенностями. Сопутствующие им месторождения различаются по важнейшим параметрам и динамике физико-химических условий отложения руд.

Развивая идеи М. А. Усова [12], мы приводили в ряде публикаций разносторонние доказательства необходимости выделения вулканогенной и плутоногенной групп золоторудных формаций [9, 13]. Наши разработки хорошо согласовывались с крупными обобщениями, проведенными В. Н. Котляром (1968 г.), Л. Н. Овчинниковым (1968 г.), В. И. Смирновым (1968 г.) и др. Однако вулканогенная и плутоногенная группы рудных формаций сравнительно легко выделялись только при систематике жильных золоторудных месторождений. Важнейшие минералы, слагающие рудосные жилы, — кварц, альбит, адуляры, родонит и родохрозит, турмалины и другие силикаты. Они являются хорошими критериями при классификации и используются при наименовании рудных формаций (золото-кварцевая, золото-альбит-кварцевая, золото-адуляровая и т. д.). Вулканогенная группа в отличие от плутоногенной является золото-серебряной. Приуроченность таких месторождений к вулканогенным поясам и зонам подтверждается огромным эмпирическим материалом. Существование золотых месторождений плутоногенной группы тяготеет к гипабиссальным интрузивам.

Кроме того, в пределах эвгеосинклинальных складчатых зон, вулканогенных поясов и интрузивных зон, а также в областях тектоно-магматической активизации широко развиты сложные месторождения, характеризующиеся пространственно-временными связями с проявлениями как вулканизма, так и плутономизма. Они выделены в группу вулканогенно-плутоногенных [13]. Ранее на примере других рудных формаций эти месторождения выделялись В. Н. Котляром главным образом как глубинно-вулканические [3].

Классификационное значение перечисленных выше жильных минералов для месторождений вулканогенно-плутоногенной группы утрачивается. Формы рудных тел усложняются. Резко возрастает роль сульфидов и теллуридов. Месторождения нередко являются либо золото-серебряными, либо содержат заметно повышенные количества серебра в рудах. Распространены они в районах широкого развития вулканогенной деятельности. Характеризуемые месторождения свойственны совмещению эпитермальных и гипотермальных минеральных ассоциаций, что также сближает их с вулканогенными месторождениями. Рудные формации этой группы целесообразно называть по определению рудным минеральным ассоциациями.

Гидротермальные золоторудные образования, тесно связанные с метаморфогенным (алпийским) кварцем и другими проявлениями регионального метаморфизма и не обнаруживающие рудноформационных связей с вулканогенными и плутоногенными месторождениями, выделяются в группу метаморфогенных рудных формаций. Для месторождений этой группы отмечается пространственно-временная парагенетическая связь с зеленосланцевыми фациями регионального метаморфизма [13].

Жильные нерудные минералы, исключая кварц, также не имеют здесь определяющего типоморфного значения. Золотоносные рудные формации собственно магматических месторождений, сформировавшихся в результате обособления сульфидного расплава, отчетливо связаны с ультрабазитовыми магмами. Характеристика важнейших генетических групп золоторудных формаций дана в табл. 1, 2.

Особенности размещения. Вулканогенная и вулканогенно-плутоногенная группы формаций развиты в пределах вулканогенных поясов и зон кайнозойского и мезозойского (тихоокеанских и средиземноморских), палеозойского и докембрийского возраста в связи с вулканизмом различных этапов развития складчатых областей.

Среди кайнозойских золото-сереброносных провинций наиболее широко известны Северо-Американская и Трансильванская. В Северной Америке верхнепалеогеновые — неогеновые и четвертичные континентальные вулканогенные породы образуют весьма протяженный (от Центральной Канады до Карибского моря) вулканогенный пояс, сформировавшийся на невадийском и ларамийском складчатом основании. Крайне трудно выделить какие-либо общие этапы в развитии сложно построенного Северо-Американского вулканогенного пояса. Однако наблюдается определенная тенденция в развитии от монотонных базальтовых излияний на ранних этапах к резко дифференцированным извержениям (риолит — андезит — базальт) на поздних преимущественно миоценовых этапах и к андезитовым, андезито-базальтовым излияниям на заключительных плейстоценовых этапах вулканизма. Золото-серебряное оруденение отчетливо связано с миоценовым вулканизмом.

На основании анализа мощностей последокембрийских толщ в североамериканских Кордильерах Эд Уиссер [11] пришел к выводу, что большинство золото-серебряных месторождений приурочено к районам длительных и устойчивых поднятий, сформировавшихся с палеозоя до миоцен-плиоцена включительно. Образование поднятий и формирование Северо-Американского вулканогенного пояса связывается, таким образом, с общим воздыманием Кордильер. Рудоконтролирующая и рудовещающая роль отводится в основном радиальным и кольцевым трещинам, формирующимся в связи с купольными поднятиями.

Золото-серебряное оруденение Трансильвании причинно также связано с общим воздыманием территории, которое сопровождалось континентальным вулканизмом, падением давления в магматических очагах, выделением газовой фазы и образованием трещин растяжения [5]. Вулканогенные зоны и оруденение приурочены к окраинам Паннонской впадины, развившейся на одноименном срединном массиве. Большинство исследователей подчеркивают связь оруденения с длительно развивавшимися андезитовым вулканизмом, отмечая локальное развитие и риолитового вулканизма. Хорошо видна общая антидромная последовательность в развитии вулканогенных зон Трансильвании. Аналогичные соотношения продуктов андезитового и риолитового вулканизма наблюдаются в золото-серебряных районах Родопского срединного массива и Центральной Словакии.

В пределах островных дуг Тихого океана месторождения характеризуются формациями широко развитыми на Японских островах, а также на Суматре, Яве, Сулавеси, Новой Гвинее, Филиппинах и других островах «огненного» кольца. Эти золото-серебряные месторождения связаны с приматериковыми вулканическими дугами (Алеутской, Курило-Камчатской, Японской, Нансей, Филиппинской, Индонезийской, Новогвинейской, Новозеландской).

Особенностью металлогении приматериковых вулканических дуг является соединение рудных формаций, обычно свойственных разным этапам геосинклинального развития. В частности, рудные формации, характерные для субсеквентного континентального вулканизма (золото-серебряные, ртутные и др.), сопряжены с колчеданной минерализацией, которая обычно проявляется на ранних стадиях развития эвгеосинклиналей. Так, в провинции «зеленых туфов» Японских островов выделяются две генетические группы месторождений. К первой относят среднемиоценовые стратиформные месторождения Кууроко, образовавшиеся в процессе геосинклинального прогибания, а во второй — эпитгенетические жильные, в том числе золото-серебряные позднемиоценовые или раннеплиоценовые [10].

В пределах приматериковых вулканических дуг отмечены и посленеогеновые золото-серебряные рудопроявления. В ряде современных горячих источников островных дуг и Северной Америки (Таупо в Новой Зеландии, Стилбот Спрингс в Неваде) отлагаются сульфидно-кремнистые осадки, близкие по вещественному составу к золото-серебряным рудам [14].

Крупнейшие золото-серебряные мезозойские и мезо-кайнозойские провинции приурочены к системе окраинных и в меньшей степени дейтероогенных внутриконтинентальных поясов Восточной Азии. Окраинные вулканогенные пояса формировались в сложной зоне сочленения земной коры различного типа и характеризуются широким развитием месторождений золото-серебряных и других вулканогенных рудных формаций. Этой сравнительно узкой зоне свойственны заметно уменьшенная мощность «гранитного» и увеличение «базальтового» слоев. В отличие от субэвральных вулканогенных поясов Америки и островных дуг восточноазиатские пояса в структурном отношении выражены более четко и характеризуются длительным полициклическим развитием.

Развиваясь главным образом по границе сочленения разновозрастных складчатых областей и зон, они приобретают наибольшую выразительность на участках сочленения торцового типа.

Эти пояса совместно с примыкающими и нередко сопряженными с ними во времени поздние и послеоогенными вулканогенными зонами образовались в период от верхней юры до палеогена включительно. Для начальных этапов формирования поясов типично широкое проявление вулканоплутоонических ассоциаций среднего состава, далее они сменяются извержениями лав игнимбритов, образующих в целом порфирово-игнимбритовые ассоциации. Поздние и завершающие этапы наряду с порфирово-игнимбритовыми ассоциациями харак-

Характеристика золотоносных рудных формаций

Таблица 1

Характеристика	Гидротермальные				
	плутоногенная	вулканогенная	вулканогенно-плутоногенная	метаморфогенная	Магматическая
Геологическое положение	Складчатые области разного типа, зоны орогенного плутонизма	Вулканогенные пояса и зоны, субмаринные зоны раннегеосинклинального магматизма	Вулканогенные и вулканоплутонические пояса, перивулканические зоны, а также тектономагматической активизации	Зоны зеленосланцевого метаморфизма в миогеосинклинальных складчатых областях	Платформенные, субплатформенные, геосинклинальные районы развития гипербазитовых пород и траппов
Связь с магматизмом	Временная и структурная с орогенными плутонами (с батолитами), а также с малыми интрузиями среднего и кислого состава	Временная и структурная — с вулканитами контрастного состава	С вулканоплутоническими ассоциациями основного, среднего (монцитонидного) состава, субвулканическими интрузиями пестрого состава, дифференцированными сериями базальт-андезит-дацит-липаритового состава	Временная и структурная с гранитизацией и региональным метаморфизмом	Генетическая с ультрабазит-габбро-норитами, пироксенит-норит-перидотитами, габбро-долеритами
Давление, МПа	20—100	0,5—80	До 200	100	100—200
Температура, °C	100—500	80—400	200—500	150—350	950—1200
Околорудные изменения	Окварцевание, альбитизация, серицитизация, реже турмалинизация, в известняках — скарирование	Пропилитизация, аргиллизация, кварцитизация	Лиственитизация, березитизация, пропилитизация, сульфидизация	Зеленосланцевые фации метаморфизма: хлорит-серицитовые и биотит-хлоритовые зоны	Серпентинизация, сульфидизация
Продуктивные минеральные ассоциации	Золото-галенит-сфалеритовая, золото-сульфоактимонитовая, золото-пиритовая, золото-арсенопиритовая, золото-магнетитовая	Электрум-серебро-аргентитовая, электрум-сульфидно-сульфоантимонитовая, электрум-сфалерит-галенитовая, электрум-пиритовая, электрум-сульфидно-полиметаллическая	Золото-пиритовая, золото-арсенопиритовая, золото-теллуридная, золото-сульфидно-полиметаллическая	Золото (галенит—сфалерит—халькопирит—арсенопирит)-пиритовая	Золото-платинометаллическая, электрум-кюстелит-платинометаллическая-халькопиритовая
Тип месторождений	Минералогический	Золото-арсенопиритовый, золото-сфалерит-галенитовый, золото-сульфоантимонитовый, золото-гранат-магнетитовый	Золото-аргентитовый, золото-сфалерит-галенитовый, золото-сульфоантимонитовый, золото-пиритовый	Золото-пиритовый	Пирротин-пентландит-халькопиритовый, пирит-халькопирит-пирротин-пентландитовый
	Структурно-морфологический	Жильный, жильных зон, штокерный	Жильный, жильных зон (прожилково-метасоматический), штокерный, зоны брекчирования, пластовые залежи	Зоны вкрапленных руд, штокерки	Пластовые тела, залежи, пластобразные тела вкрапленных руд
Примеры рудных формаций	Золото-кварцевая, золото-сульфидно-кварцевая, золото-алюмосиликатная	Золото-серебряные (кварцевая, адуляровая, родохрозит-родонитовая), золото-колчеданная	Золото-теллуридная, золото-сульфидная вкрапленных руд	Золото-пиритовая вкрапленных руд	Золото-серебряная пентландит-халькопиритовая
Примеры месторождений	Бендигго, Уаяхал-Вудс-Пойнт (Австралия), Мазер-Лод (Сев. Америки)	Комсток (Невада), Кремница (Карпаты), Куроко (Япония)	Калгурли (Австралия), Тауа (Фиджи), Хоумстейк, Карлин (США)	Байкало-Патомское нагорье, Аравия	Садбери

теризуются широким развитием базальтов и андезит-базальтов. Особенности развития в конкретных районах зависят от характера основания вулканогенных поясов.

Важнейшими металлогеническими особенностями поясов являются широкое развитие вулканогенных рудных формаций, редуцированный характер плутоногенных и почти полное отсутствие собственно магматических формаций.

Данные по химизму магматических образований, связанных в пространственном и возрастном отношении с золото-серебряным оруденением, довольно разноречивы. Оруденение развивается в районах с магматическими сериями как калиевого, так и натриевого ряда.

Вместе с тем можно определенно говорить о сравнительно более высокой калиеиспользованности магматических образований рудных районов, что связано с ортоклазовыми и гематит-ортоклазовыми метасоматитами магматической стадии (ранней щелочной стадии Д. С. Коржинского), непосредственно предшествующей гидротермальным процессам. Калиевые метасоматиты развиваются также в районах с резко выраженной натриевой серией пород. Это позволяет предположить, что калиевый метасоматизм в данном случае является особенностью предгидротермальных вулканогенных процессов. В отличие от сравнительно монотонных по составу вулканогенных толщ золотоносных районов (например, крупные районы

развития раннемеловых образований в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе) эффузивы в пределах рудоконтролирующих структур обычно характеризуются контрастными по составу сериями пород, образовавшихся в предрудный этап.

Характеристики оруденения в пределах разнотипных рудоконтролирующих структур в значительной степени подобны. В большинстве случаев совместно с золото-серебряными отмечаются сурьмяно-ртутные, полиметаллические, золото-редкометаллические, медно-молибденовые месторождения.

Месторождения золото-серебряных формаций сравнительно широко развиты также в палеозойских вулканических поясах Австралии и

Средней Азии. В этих регионах распространены также плутоногенно-вулканогенные золото-рудные формации. Выделение вулканогенных формаций нередко осложнено из-за пространственно-временной и минералогическо-геохимической близости плутоногенного и вулканогенного оруденения. Золото-серебряные месторождения отмечаются обычно в толщах среднего состава, однако известны в туфах и лавах кислого состава, в гранитах, песчаниках и глинистых сланцах.

Рядом исследователей отмечена возможность развития золото-серебряных месторождений в позднем докембрии в связи с развитием континентальной базальт-андезит-липаритовой группы вулканогенных образований [2].

Таблица 2

Генетическая систематика золоторудных месторождений

Класс	Генетическая группа рудных формаций	Тип ряда рудных формаций	Рудная формация	Степень дифференцированности благородных металлов	Источник рудного вещества
Магматический	Интрузивно-ликвационная	Сульфидных расплавов	Золото-серебро-халькопирит-пентландит-пирротинная	Слабая или отсутствует	Мантийный
	Протрузивная	Платинометалльный акцессорно-вкрапленный	Золото-серебро-платинометаллическая		
Гидротермальный	Вулканогенная	Вулканогенных поясов «пропилитовый» Cu—Mo, Pb—Zn, Au—Ag, Sb—Hg	Золото-серебро-адюляр-кварцевая	Умеренная до значительной в пределах месторождения или рудного узла	Мантийно-коровый
		Колчеданный Cu—Pb, Zn, Au—Ag	Золото-сереброносная полиметаллическая сульфидная, золото-колчеданная		
	Вулканогенно-плутоногенная	Эвгеосинклинальный Cu—Au—Ag—Bi—Te—Mo—W — миогеосинклинальный (в том числе перивулканических зон) Sn—W, Sn—Ag, Au, Ag, Pb—Zn, Sb, Hg	Золото-теллуридная, золото-сульфидная (вкрапленных руд)	Высокая	Коровый
	Плутоногенная		Золото-сульфидно-кварцевая, золото-алюмосиликатная		
			Золото-кварцевая		
	Метаморфогенная	Зеленосланцевый (альпийских жил)	Золото-пиритовая (вкрапленных руд)		

Однако докембрийские вулканогенные рудопоявления существенно отличаются от месторождений золото-серебряных формаций и по характеру минеральных ассоциаций более родственны вулканогенно-плутоногенной золото-теллуридной формации.

Золото-колчеданная формация в отличие от золото-серебряной свойственна ранним этапам развития геосинклинальных областей. Такие месторождения распространены в архейских провинциях Черчилл, протерозойских Аризоны, герцинских Урала и Северного Кавказа. Иного типа провинции золото-колчеданного оруденения, называемые нередко вторично геосинклинальными, известны в пределах вулканогенно-плутоногенных поясов Казахстана и Узбекистана. К этому типу относится также провинция зеленых туфов Японии. Среди колчеданных образований могут быть выделены, как известно, вулканические, вулканогенно-осадочные, а также субвулканические [3], или вул-

каногенно-плутоногенные. Существенно золотоносными являются лишь последние.

Золото-теллуридная формация распространена главным образом в пределах континентальных и субконтинентальных вулканогенных зон. Эта формация особенно широко развивалась в докембрии и кайнозое. В палеозое мезозое она менее выразительна и нередко заменена более сложными родственными формациями. Месторождения золото-теллуридной формации связаны с вулканоплутоническими ассоциациями субсеквентного вулканизма эвгеосинклинальных складчатых зон. В пределах вулканогенных поясов золото-теллуридные месторождения ассоциируются с золото-серебряными, но тяготеют к участкам проявления магматических образований основного и даже ультраосновного состава. Классический пример докембрийских месторождений формации — Калгурли (Австралия), расположенное в одной из серии пород Иилгарнского ядра За-

падно-Австралийского щита. К типичным кайнозойским месторождениям относится Тавуа (о. Вити-Леву, Фиджи). К этой формации принадлежат также месторождения Крипл-Крик (шт. Колорадо), Голдфилд (шт. Невада) и др.

Исключительно сложна и многочисленна группа месторождений, имеющих одновременно черты золото-теллуридной, золото-серебряных вулканогенных и некоторых золотых плутоногенных рудных формаций. Эти месторождения лишь частично поддаются систематизации. Они связаны в пространственно-временном отношении с субвулканической и гипабиссальной фазами магматизма; геологические условия их развития разнообразны. В эвгеосинклинальных системах месторождения развивались в связи с орогенным магматизмом, на платформах и срединных массивах — с тектоно-магматической их активизацией, в пределах континентальных вулканогенных поясов они приурочены к вулканоплутоническим ассоциациям пород габбро-гранодиорит-гранит-андезитового состава.

К рассматриваемой сложноформационной группе относятся месторождения рудного узла Поркьюпайн (южная часть Канадского щита). Они отмечаются также в пределах палеозойских вулканогенных поясов Средней Азии, где ассоциируют с месторождениями золото-серебряных формаций, образуя с последними сложную (переходную) группу.

В пределах тихоокеанских мезозойских и кайнозойских вулканогенных поясов, особенно в периферических их частях (в перивулканических зонах), наряду с золото-серебряными и золото-теллуридными формациями широко развиты золото-сульфидные месторождения тонковкрапленных руд. Они обычно приурочены к миогеосинклинальным толщам основания вулканогенных поясов и отчетливо связаны с рудоконтролирующими вулканоструктурами. Оруденение контролируется сложным сочетанием проявлений криповулканизма, субвулканических интрузий и дайковых комплексов, а также интрузивно-купольных структур с элементами складчатых дислокаций. Нередко эти структуры фиксируются и как термальные антиклинали, что свидетельствует о формировании их в условиях повышенных тепловых потоков, выразившихся в повышенной пластичности терригенных и терригенно-карбонатных толщ, явлениях динамометаморфизма, магматического замещения и других признаках тектоно-магматической активизации.

Рудные тела месторождений имеют форму сложных круто- или пологопадающих (пластовых) залежей и представлены метасоматическими образованиями с тонкой, нередко субмикроскопической сульфидной вкрапленностью. Подчиненную роль играют прожилково-брекчиевые образования, а также жилы выполненные, залегающие в породах, менее подверженных пластическим деформациям, — песчаниках, интрузивных образованиях. Оруденение распространяется на глубину до 2000 м и более. Для его локализации в общем случае благоприятны согласное с напластованием расположение трещинных структур, зон рассланцевания, приазырного будинажа, милонитизации, осей складок, даек различного состава. По минералогическим признакам и петрохимической направленности окорудные метасома-

тические преобразования пород в целом типичны для вулканогенных месторождений. Жильная и прожилковая минерализация в общем также идентична минерализации, развитой в адюляр-кварцевых жилах золото-серебряных месторождений.

Вкрапленное оруденение представлено тонкими выделениями арсенопирита, мышьяковистого пирита, антимонита и других сульфидов и сульфосоединений. Нередко сульфидные руды сопровождаются спорадической вкрапленностью касситерита, вольфрамитов и молибденита. Основная золотосодержащая связана с субмикроскопическими выделениями высокопробного золота в тонковкрапленном арсенопирите и мышьяковистом пирите. Серебряная минерализация отчетливо приурочена к жильным и прожилковым образованиям. Иными словами, в пределах характеризуемых месторождений наблюдается четкая тенденция к дифференциации золотой и серебряной минерализации.

Интересно также отметить, что временные и структурные взаимоотношения между золото-сульфидными и золото-серебряными месторождениями континентальных вулканогенных поясов в принципе близки к таковым между колчеданными залежами куроко и золото-серебряными месторождениями провинции «зеленых туфов».

Плутоногенные и метаморфогенные рудные формации широко развиты в складчатых областях разного типа и возраста в связи с орогенным гранитоидным магматизмом и региональным метаморфизмом. В эвгеосинклинальных мезозондах (Береговые хребты Канады и Орегона, гор Клатмат, Сьерра-Невады, Сихотэ-Алиня, Олойско-Алазейской системы) плутоногенная золотосодержащая приурочена главным образом к габбро-гранодиорит-плагногранитной серии пород; в миогеосинклинальных мезозондах (Верхояно-Чукотская складчатая область, пояс Милларда и др.) — к гранитам и малым интрузиям пестрого состава. Для миогеосинклинальных зон характерно развитие золотосодержащих кварцевых жил; для эвгеосинклинальных — альбит-кварцевых, нередко теснейшим образом связанных с вулканогенно-плутоногенными золото-теллуридно-сульфидными месторождениями. С позднеорогенными интрузивами обеих геосинклинальных зон связаны главным образом золоторудные формации вулканогенной или вулканогенно-плутоногенной группы.

Палеозойские провинции плутоногенной золотосодержащей (алтае-саинские, уральские, казахстанские, среднеазиатские, западноевропейские каледониды и герциниды, а также герциниды Австралии и Анды) расположены преимущественно в эвгеосинклинальных складчатых системах. К ним тяготеют даже и золото-скарновые месторождения в карбонатных толщах.

В рифейских провинциях Западно-Австралийского щита и южного обрамления Сибирской платформы, а также в байкальских Аравийской складчатой области важнейшие плутоногенные месторождения связаны с миогеосинклинальными зонами. Это преимущественно месторождения золото-кварцевой формации, ассоциирующиеся с метаморфогенными.

К дорифейским гранитным массивам и гранитизированным породам, сочетающимся с метаморфизованными песчано-глинистыми толща-

ми, приурочены месторождения золото-кварцевой формации (провинция Йеллоунайф на Канадском щите, некоторые районы Леоне-Либерицкого и Центральноафриканского щитов, Йилгранское ядро Западно-Австралийского щита). Дорифейские золотоносные провинции характеризуются также широким развитием вулканогенно-плутоногенных и метаморфогенных месторождений.

Метаморфогенная группа рудных формаций изучена слабо; такие месторождения известны в докембрийских и раннефанерозойских миогеосинклинальных зонах Западно-Австралийского щита и южного обрамления Сибирской платформы, Аравийской и Тянь-Шаньской складчатых областей. Существуют представления [1] о мобилизации и выносе золота из пород не только в регрессивно-метасоматический, но и в собственно прогрессивный этап метаморфизма, а также об отложении его из метаморфогенных гидротерм в определенных благоприятных зонах (зеленосланцевой метаморфизма, гидротермальной аргиллизации) и толщах (углистые, пиритизированные и пр.). Естественно, что продукты деятельности метаморфогенных гидротерм нередко подобны плутоногенным гидротермальным отложениям. Кроме общего геологического критерия — связи с зонами регионального метаморфизма — метаморфогенные месторождения обладают рядом признаков, отражающих специфические условия их образования: 1) преимущественно мелкопрожилково-вкрапленный тип оруденения в сочетании с жилами слабо золотоносного метаморфогенного кварца; 2) золотоносная пиритизация в зонах метаморфизма зеленосланцевой фации; 3) сравнительно простой состав продуктивной минеральной ассоциации (кварц, пирит, пирротин, золото с небольшим количеством галенита, сфалерита и других сульфидов); 4) избирательная приуроченность золота в зонах золотоносной пиритизации к пачкам «углистых» алевролитов; 5) близость физико-химических параметров регрессивной стадии метаморфизма зеленосланцевой фации и оруденения; 6) отсутствие рудноформационных связей с вулканогенными гидротермальными месторождениями.

Отмечаются две рудные формации метаморфогенных месторождений: золото-пиритовая зеленосланцевая [1] и золото-углеродистая [4]. Выделение этих формаций дискуссионно и масштабы их развития трактуются неоднозначно. Наиболее благоприятные районы развития их — зоны регионального метаморфизма низких ступеней в докембрийских и нижнепалеозойских терригенных и терригенно-карбонатных толщах.

Магматические рудные формации генетически связаны с ультрабазит-габбро-норитами, пироксенит-норитами, норит-пирититами и габбро-долеритами. Выделяются две группы этих комплексных преимущественно медно-никелевых месторождений: золото-халькопирит-пентландит-пирротиновая и золото-серебряная пентландит-халькопиритовая. Источник рудного вещества здесь мантийный, что доказывается составом материнских интрузий и изотопным составом серы в рудах, отвечающими метеоритному [6]. Рудные формации связаны с основными и ультраосновными стратиформными интрузиями эпипархейской

платформы (Южная Африка, Канада), интрузивной фацией траппов эпипротерозойской (Сибирской) платформы, а также с интрузиями раннегеосинклинальных и орогенных этапов (штаты Калифорния, Орегон, Аляска). Непромышленные акцессорные вкрапленные образования широко развиты в альпинотипных протрузиях ультрабазитов Тихоокеанского обрамления.

Сравнительная характеристика генетических групп. Анализ размещения золоторудных месторождений рассмотренных групп рудных формаций во времени и в пространстве позволяет обнаружить некоторые закономерности эволюции золотого оруденения. В частности, вулканогенно-плутоногенные сложные рудные формации характерны преимущественно для раннеорогенных и заключительных этапов развития и активизации складчатых областей. Простые вулканогенные и плутоногенные рудные формации связаны с поздним этапом развития вулканогенных поясов, а также с орогенным интрузивным магматизмом. Докембрийские эпохи характеризуются преимущественным развитием сложных (вулканогенно-плутоногенных) золоторудных формаций. В палеозое и особенно мезозое увеличивается роль простых вулканогенных и плутоногенных рудных формаций.

Плутоногенные месторождения формируются в условиях устойчивых физико-химических систем, которые обусловили текстурно-структурные особенности руд, равновесность минеральных ассоциаций и нормальный термобарический режим. Вулканогенные месторождения, напротив, характеризуются инверсионностью физико-химических параметров рудообразующих систем, что также достаточно определенно отражено в текстурах руд и специфичных минеральных ассоциациях. Рудные тела вулканогенных и плутоногенных месторождений образуются в основном в результате выполнения трещин жильным материалом, отмечаются при этом и метасоматические процессы. Однако последние развиваются в тесной связи с образованием жил и прожилков при тех же физико-химических условиях.

Метаморфогенные месторождения приурочены к зонам метасоматизма или метаморфизма. Основная форма концентрации золота связана с процессами отложения рудного вещества из метаморфогенных гидротерм. Наиболее сложны по форме отложения рудного вещества месторождения вулканогенно-плутоногенной группы. Эти в большинстве случаев многоэтапные месторождения отличаются формированием руд на близповерхностном (субвулканическом) и гипабиссальном уровнях. Рудообразование сопровождается мощными магматическими (в том числе криптовулканическим) и гидротермальными эксплозиями, в результате чего наряду с жилами выполнения развиваются зоны сматия и брекчирования пород, а также трубки взрыва. Физико-химические условия отложения рудного вещества здесь наиболее разнообразны, а время рудообразования чрезвычайно велико по сравнению с месторождениями других типов.

Вулканогенные и вулканогенно-плутоногенные рудные формации в пространственно-временном отношении связаны либо с контрастными по составу сериями магматических пород (ти-

па липарит — базальт), либо с среднеосновными и даже ультраосновными эффузивно-интрузивными образованиями. Собственно магматические рудные формации, как отмечалось, отчетливо связаны с ультраосновными и основными породами. Эти три группы месторождений являются или золото-серебряными, или, будучи существенно золотыми, сопровождаются серебряными и олово-серебряными, или серебро-полиметаллическими месторождениями.

Плутоногенная группа месторождений тесно связана с гранитоидами преимущественно натриевых серий, являющимися обычно дифференциатами гомодромного интрузивного ряда. Месторождения, как правило, являются существенно золотыми и не сопровождаются серебряным оруденением. В этом отношении они сходны с месторождениями метаморфогенной группы, не связанными с магматическими образованиями.

Анализ взаимоотношений золоторудных месторождений с месторождениями других рудных формаций позволяет выделить следующие рудноформационные ряды (см. табл. 2): 1) магматические золото-серебро-медно-никелевые; 2) вулканогенные («пропитовый» и «железнодорожный»), включающие молибден-медную (меднопорфировую), полиметаллическую, золото-серебряную и сурьмяно-ртутную, а также колчеданные формации; 3) вулканогенно-плутоногенный эвгеосинклинального типа, включающий золото-сульфидно (теллуридно)-кварцевые, медные, серебро-свинцовые формации; 4) вулканогенно-плутоногенный и метаморфогенный миогеосинклинального типа, включающие золото-кварцевую, золото-пиритовую и золото-сульфидную вкрапленных руд, полиметаллическую (стратиформную), оловянные, олово-вольфрамовые, олово-серебряную, скарновую, сурьмяную, ртутную. В этих рядах отчетливо проявлена нарастающая дифференциация золотого и серебряного оруденения от магматических (недифференцированных) к миогеосинклинальным (высоко дифференцированным) рудным формациям.

Генетическая систематика золоторудных месторождений основывается на важнейших положениях рудной геологии. Последние отечественные и зарубежные работы по вулканизму и современной гидротермальной деятельности подтвердили генетическое значение вулканогенной группы месторождений, выделенной и охарактеризованной в трудах М. А. Усова, П. Ниггли, Г. Шнейдерхана, В. Н. Котляра, В. И. Смирнова, Н. А. Шило и др. Вместе с тем установлена независимость типично вулканогенной так называемой пропитовой группы рудных формаций от состава и характера интрузивного гипабиссального магматизма и соответствующей ему металлогенической специализации. Эти рудные формации достаточно широко развиты в пределах как «натриевых золотоносных», так и «калиевых оловоносных» магматических провинций. Однако во всех случаях оруденение отчетливо парагенетически связано с эффузивными и субвулканическими образованиями контрастного состава (игнимбит — базальт). Эти соображения, равно как и приуроченность вулканогенных рудных формаций к глубинным структурам, позволили сделать заключение о мантийном или по крайней мере нижнекоревом характере

рудогенерирующих источников [8, 13]. С. И. Набоко, анализируя природу магматогенных принципиально рудоносных гидротермальных растворов крупных термоаномалий, пришла к выводу, что области разгрузки глубинных гидротерм приурочены к определенным геологическим структурам, глубинным разломам и не связаны с конкретными активными вулканами. При этом она обратила внимание на «сходство таких гидротермальных растворов областей активного вулканизма мира по всем физико-химическим показателям» [8, с. 250].

Как ни странно, именно доказательства глубинности источников вулканогенного оруденения послужили для ряда исследователей (преимущественно линдгреновской школы) поводом для отрицания целесообразности разделения гидротермальных месторождений на вулканогенные и плутоногенные. Рассуждая вне конкретной геологической обстановки, с сугубо общих физико-химических позиций, увидеть различия между вулканогенными и плутоногенными месторождениями, действительно, не просто. Однако перспективность этого направления хорошо видна и с позиции источников рудного вещества. В собственно магматических месторождениях источником благородных металлов в дифференцированных габбро-долеритах норильского типа М. Н. Годлевский и др. [6] считают первичный сульфидный расплав, отделившийся от родоначальной толентовой магмы (выплавки «хондритового» слоя мантии). Состав золото-серебряных минералов и отношение Au:Ag в золото-платиновометаллических и вулканогенных гидротермальных рудах в общем подобен, дифференциация золота и серебра в них минимальна. И это не случайно.

Целый ряд отмеченных выше косвенных факторов свидетельствует о непосредственном участии мантийного рудоносного флюида в вулканогенной гидротермальной деятельности. Дозванная кратковременность физико-химических процессов рудообразования в близповерхностной обстановке препятствовала проявлению сколько-нибудь существенной дифференциации золота и серебра. В более сложных вулканогенно-плутоногенных месторождениях физико-химические процессы рудоотложения более длительны и разнообразны и характеризуются неоднократным переотложением рудного вещества. В результате этого из-за существенно различной химии золота и серебра дифференциация металлов достигает здесь высокого уровня. Однако в пространственном отношении проявления дифференциации металлов ограничены. Золото и серебро разделяются в пределах рудного поля, а нередко только в пределах рудного тела. Например, тонкое высокопробное золото концентрируется в сульфидизированных карбонатно-глинистых или углито-глинистых породах, а серебряные минералы отлагаются преимущественно в прожилках выполнения. Иными словами, в целом эти месторождения являются золото-серебряными, что сближает их с типично вулканогенными месторождениями. Хотя есть основания думать, что источники рудного вещества вулканогенно-плутоногенных месторождений являются также преимущественно мантийными, роль других, вторичных источников (ассимиля-

ционных гранитоидных и фильтрационных, по В. И. Смирнову) при формировании их, по-видимому, достаточно велика.

Плутогенные и метаморфогенные месторождения характеризуются настолько высокой дифференциацией золота и серебра, что в пределах рудных полей и даже крупных рудоносных структур совместных значительных скоплений золотых и серебряных руд обычно не отмечается. При этом плутогенные золото-рудные месторождения отчетливо связаны с интрузивными сериями натриевого, а серебряные (серебро-полиметаллические, олово-серебряные) — калиевого типа [7]. Существует представление, что источники рудного вещества месторождений метаморфогенных формаций связаны с интенсивным выносом золота из зон глубокого метаморфизма в слабометаморфизованные толщи. Наиболее вероятными источниками рудного вещества этих месторождений являются коровые гранитоиды и зоны метаморфизма глубоких ступеней [1, 3].

Сформулируем главные выводы.

1. Генетической основой систематики золото-рудных месторождений являются следующие группы рудных формаций: собственно магматическая и гидротермальные вулканогенная, плутогенная, вулканогенно-плутогенная, метаморфогенная. Магматические золото-серебро-платинометаллические медно-никелевые месторождения имеют первичный источник рудного вещества, так как они генетически связаны с ультрабазитовыми мантийными породами. Гидротермальные группы рудных формаций в разной степени обладают признаками первичного источника рудного вещества или вообще лишены их.

2. Месторождения вулканогенной группы формаций являются золото-серебряными. Их размещение контролируется глубинными разломами вулканогенных поясов и независимо относительно пространственного положения, состава и характера интрузивного гипабиссального магматизма. Вместе с тем месторождения парагенетически связаны с эффузивными и субвулканическими образованиями контрастного состава (игнимбрит — базальт). По составу золото-серебряных минеральных видов и отношению $Au:Ag$ в рудах они родственны магматическим месторождениям. Источники рудного вещества вулканогенных гидротермальных месторождений также преимущественно первичные, т. е. мантийные. Вулканогенно-плутогенная группа является сложноформационной. Однако по типу рудоконтролирующих структур, строению рудных полей, связи с вулканизмом и значительной серебрести рудных образований эта группа формаций скорее вулканогенная, нежели плутогенная. Месторождения характеризуемой группы связаны с вулканогенно-плутогенными ассоциациями раннеорогенных и заключительных (эпиплатформенных) этапов развития складчатых областей. Источники рудного вещества различны. Однако признаки первичного источника не утрачены.

3. Месторождения плутогенной группы формаций связаны с орогенным интрузивным магматизмом и распространены в эвгеосинклинальных складчатых системах, рифтогенных структурах и зонах сочленения многоэвгеосинкли-

налей с эвгеосинклиналями. Для месторождений нехарактерна серебряная минерализация. Рудные тела преимущественно жильные до штокерковых. Источники рудного вещества вторичные, преимущественно гранитоидные.

4. Месторождения метаморфогенной группы формаций распространены в многоэвгеосинклинальных толщах и связаны с регрессивным этапом развития зон регионального метаморфизма. Золотое оруденение тесно ассоциируется с жилами и прожилками метаморфогенного (альпийского) кварца. По минеральному составу руд и формам залегания оно подобно и даже конвергентно оруденению плутогенной золото-кварцевой формации. Однако промышленные рудные тела метаморфогенных месторождений представлены залежами прожилково-кварцевых и сульфидно-вкрапленных руд. Источники рудного вещества также вторичные, в том числе фильтрационные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В. А. Метаморфогенно-гидротермальный тип промышленного золотого оруденения. Новосибирск, Наука, 1975.
2. Бухаров А. А., Обухов С. П. О докембрийском эпитеермальном рудогенезе и металлогении Прибайкальского вулканического пояса. — Геология и геофизика, 1976, № 1, с. 25—31.
3. Генезис эндогенных рудных месторождений. Под ред. В. И. Смирнова. М., Недра, 1968.
4. Гарьковский В. Г. О выделении углеродистой рудной формации (на примере Южного Тянь-Шаня). — УЗБ. геолог. журн., 1976, № 5, с. 17—21.
5. Гиццлеску Т. П., Боркош М. Структурный контроль металлогенеза, связанного с поздним проявлением магматизма в Рудных горах Трансильвании. — В кн.: Геология и геохимия рудных месторождений. М., Мир, 1971, с. 107—109.
6. Годлевский М. Н., Разин Л. В., Конкина О. М. Золотоносность дифференцированных интрузивов норильского типа. — Тр. ЦНИГРИ, 1970, вып. 87, с. 42—57.
7. Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение/Э. И. Изох, В. В. Русс, И. В. Кунаев, Г. И. Наговская. М., Наука, 1967.
8. Набоко С. И. Особенности гидротермальных процессов в областях активного вулканизма. — В кн.: Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М., Недра, 1974, с. 249—256.
9. Сидоров А. А. Золото-серебряное оруденение Центральной Чукотки. М., Наука, 1966.
10. Тацуми Т., Секине Й, Канехира К. Вулканогенные рудные месторождения и металлогения Японии. — В кн.: Вулканизм и рудообразование. М., Мир, 1973, с. 16—52.
11. Уиссер Эд. Связь оруденения с купольными структурами в североамериканских Кордильерах. — В кн.: Проблемы эндогенных месторождений. Вып. 2. М., Мир, 1964, с. 9—196.

12. Усов М. А. Краткий курс рудных месторождений. Томск, 1933.
13. Шило Н. А., Сидоров А. А., Гончаров В. И. Условия образования рудных месторождений вулканогенных поясов. — Геология

рудных месторождений, 1978, № 6, с. 3—12.
14. Weissberg B. C. Solubility of gold in Hydrothermal Alkaline sulfide solutions. — Econom. Geology, 1970, vol. 65, N 5.



СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

УДК 551.71/.72.03(470.21/.23)

К. О. КРАТЦ (ИГиГД АН СССР), В. З. НЕГРУЦА (ПГО «Севзапгеология»), В. А. СОКОЛОВ (Карельск. фил. АН СССР), Ю. Б. БОГДАНОВ (ВСЕГЕИ), В. Г. ГАСКЕЛЬБЕРГ (ПГО «Севзапгеология»), В. Г. ЗАГОРОДНЫЙ (Геологич. ин-т Кольск. фил. АН СССР), Т. Ф. НЕГРУЦА (ЛГУ), М. А. СЕМИХАТОВ (ГИН АН СССР), К. А. ШУРКИН (ИГиГД АН СССР)

Новое в изучении стратиграфии докембрия советской части Балтийского щита

Многообразие предложенных схем расчленения докембрия советской части Балтийского щита (СБЩ) хорошо известно [1—10, 12, 14, 15, 17, 18 и др.]. Это многообразие впервые было сведено в единые макеты региональных стратиграфических схем архейских, нижне- и верхнепротерозойских отложений, утвержденных в ноябре 1982 г. в г. Петрозаводске на Межведомственном региональном стратиграфическом совещании (МРСС) как основа геологических работ в регионе.

Осуществление столь многоплановой и крайне сложной задачи стало возможным благодаря совместным усилиям больших коллективов научных и производственных организаций (ПГО «Севзапгеология», ВСЕГЕИ, ЛГУ, Карельский и Кольский филиалы АН СССР, ИГиГД АН СССР, ПГО «Невское», НПО «Аэрогеология» и др.), выполняющих работы на Балтийском щите. Особенно активное участие в сборе, анализе и обобщении исходных фактических данных, составлении макетов местных и региональных стратиграфических схем и их обсуждении на разных этапах готовности, в том числе во время экскурсий на опорные полевые объекты, принимали А. М. Ахмедов, П. Б. Белоножка, И. В. Бельков, А. С. Войнов, Д. И. Гарбар, Л. А. Гаскельберг, М. А. Гилярова, О. Я.

Даркшевич, В. А. Журавлев, А. И. Кайряк, Н. Г. Коноплева, В. С. Куликов, В. В. Любцов, Е. К. Мельников, А. Б. Пекуров, В. А. Перевозчикова, Ю. С. Полеховский, Ю. Г. Пушкарёв, А. А. Предовский, В. В. Проскураков, А. Л. Рогозина, В. И. Робонен, А. В. Савицкий, Т. Е. Салтыкова, А. С. Снитко, М. М. Стенарь, Т. Д. Федорова, Ж. А. Федотов, В. А. Шкворов, Е. М. Чумаков, А. С. Яновский и многие другие — всего более 150 специалистов.

Вся работа проводилась в строгом соответствии со Стратиграфическим кодексом СССР, с учетом имеющегося опыта, методологических и методических требований к разработке фанерозойской стратиграфии [14]. Общей возрастной «канвой» для региональных стратиграфических построений служила стратиграфическая шкала докембрия СССР, принятая уфимским совещанием 1977 г. и утвержденная в 1978 г. МСК [8, 13]. В основу региональных шкал положены местные стратоны, каждый из которых охарактеризован строго фиксированным типовым разрезом (стратотипом).

Последовательно выдержанный стратиграфический метод расчленения балтийского докембрия позволил выделить в нем региональные стратиграфические единицы четырех соподчиненных рангов.

Комплекс — наиболее крупное многоярусное геологическое тело, объединяющее осадочные, вулканогенные и ассоциированные с ними интрузивные образования. Его границы определяются моментами завершения двух последовательных эпох диастрофизма (складчатость, метаморфизм, гранитизация) и пенепленизации и проводятся по важнейшим структурно-метаморфическим несогласиям.

Надгоризонт (раздел) — подразделение второго ранга, представляющее собой ряд разновозрастных серий местных шкал. Сложен он ассоциацией осадочных и вулканогенных пород, сформировавшихся за полный трансгрессивно-регрессивный цикл осадконакопления и соответствующий ему этап проявления магматизма. Геологическими границами надгоризонта являются несогласия, связанные со складчатостью, коры выветривания и крупные размывы, либо (в непрерывных разрезах) уровни смены региональной регрессии трансгрессией. Начальные и завершающие члены надгоризонта (как и слагающих его серий) имеют сравнительно узкое латеральное распространение, а средние занимают наибольшие площади, являясь ведущими стратиграфическими реперами.

Горизонт и подгоризонт — основные картируемые геологические тела, объединяющие по латерали ряд разновозрастных свит или подсвит и характеризующие определенный этап (мегабитм) или подэтап (макроритм) развития бассейна осадконакопления.

Сводная стратиграфическая шкала докембрия. Наиболее важные, общепринятые историко-геологические рубежи докембрия СБЩ располагаются (сверху вниз): 1) в основании вендских отложений, начинающихся чехол северо-запада Русской плиты, 2) между неметаморфизованными, слабо дислоцированными или субгоризонтально залегающими отложениями рифея и в различной мере метаморфизованными, дислоцированными, прорванными гранитами образованиями карельского комплекса (карелием), 3) между карелием и полиметаморфическими, сложно дислоцированными и гранитизированными образованиями лопия, 4) между лопием и амфиболито-

наливовой полиметаморфической ассоциацией саамского фундамента. Комплексы пород, разделенные рубежами, составляют в региональной шкале стратиграфические подразделения первого ранга (таблица).

Нижние два комплекса — саамий и лопий — принадлежат архею. При современном уровне знаний в них не удается выделить какие-либо подразделения, прослеживающиеся по всему региону. Более того, выделение горизонтов субрегионального — карельского или кольского — значения сейчас возможно лишь условно и то только для отдельных частей лопийского комплекса, а внутренняя стратификация саамия и даже характер его соотношений с лопием вызывают разногласия.

Карельский комплекс, представляющий собой стратотип нижнего протерозоя СССР, стратифицируется гораздо более уверенно. В нем обособлено шесть последовательных надгоризонтов, трассируемых в пределах всего Кольско-Карельского региона, а для двух из них (ятулия и людиковия) намечена последовательность более дробных стратон — горизонтов, прослеживающихся по всей Карелии и в наиболее полно изученных разрезах Кольского полуострова.

Отложения вышележащего комплекса, принадлежащего рифею, на Балтийском щите распространены ограниченно, полной последовательности входящих в его состав толщ в единых разрезах не наблюдается. Совокупность историко-геологических материалов, отрывочные палеонтологические и радиологические данные позволяют более или менее уверенно выделить здесь аналоги трех верхних подразделений рифея и венда Общей стратиграфической шкалы СССР.

Полнота разрезов и состав отложений докембрия, интенсивность их метаморфизма, тектонических деформаций, как и соотношение с интрузивными образованиями, существенно меняются по площади. Это порождает трудности в корреляции, различия в определении местоположения границ и объема стратон, тем более значительные, чем интенсивнее преобразованы отложения и чем древнее стратон. Как уже говорилось, указан-

ные трудности особенно резко проявились на саамском и лопийском уровнях. Поэтому схема корреляции их местных подразделений была принята петрозаводским совещанием лишь как рабочая. Нижне- и верхнепротерозойские отложения СБЩ удалось свести в рамках двух самостоятельных региональных схем, принятых совещанием как корреляционные.

Региональная стратиграфическая схема архейских образований. В качестве верхней границы архея принято наиболее крупное и отчетливо картируемое структурно-метаморфическое несогласие и совпадающая с ним поверхность глубокой (до ультраметаморфитов) денудации. В Карелии эта граница проходит между сумием и лопием. Сумийские отложения залегают на метаморфизованной коре выветривания супракристаллических образований лопия, измененных в условиях амфиболитовой фации, и на прорывающих их гранитоидах. В основании сумия устанавливаются конгломераты, фрагменты которых сложены породами лопия, в том числе позднелопийскими плагиомикроклиновыми и микроклиновыми гранитоидами и их мигматитами. Возраст этих гранитоидов, по данным U-Pb и K-Ar методов, оценивается в 2750 ± 100 млн. лет [2, 12, 16].

На Кольском полуострове граница архея и протерозоя проведена по подошве телевинской свиты (базальной осадочной толщ печенгского разреза) и соответствующих ей в западной части Имандра-Варзугской структуры базальных образований кукинской свиты. Менее определенное положение занимает данная граница на остальной площади этой структуры и в Кейвском синклинии. В качестве такой границы условно принят контакт песчово-тундровской и выхтуртской свит на том основании, что здесь фиксируются наиболее отчетливые несогласия и размыв. Однако, как считают многие геологи, более значительные события (диастрофизм, пенепленизация) предшествовали накоплению осадков червуртской свиты (высокоглиноземистые сланцы Кейв). Поэтому именно на указанном уровне следует проводить границу архея и протерозоя в Кольском регионе.

Типовыми участками для ее проведения в восточной части Балтийского щита служат северо-восточные крылья Лехтинского (Вермас — Пибозеро — Маслозеро) и Шомбозерского (Шомбозеро — Шуоярви — Кетаноя) синклиниориев, северный берег оз. Панаярви. На Кольском полуострове перспективен в этом отношении район Больших Кейв.

Крупное структурно-денудационное несогласие намечается внутри архейских образований. На Кольском полуострове оно проходит в основании лывозерской свиты (зона Колмозеро — Воронье) и ее аналогов, в Карелии — по подошве контоксской серии (Костамукшская структура) и ее коррелянтов (Семчозеро в Центральной Карелии, озера Воронье и Нижнее Летнее в Лехтинском синклинии). Соответственно в архее устанавливаются два региональных стратона первого ранга — саамский и лопийский комплексы. Возраст разделяющего их рубежа, вероятно, не моложе 3500 млн. лет.

Обособление саамских и лопийских образований на данном уровне исследований еще затруднено. Поэтому структурно-фациальное районирование СБЩ в архее выполнено для обоих комплексов вместе (рис. 1). Всего выделено 12 структурно-фациальных зон, объединяющих 23 местных стратиграфических разрезов.

Состав галек и валунов в конгломератах, наблюдаемых среди базальных гнейсов лопия, свидетельствует о том, что долопийская область сноса была сложена саамским комплексом, представленным плагиогранитоидами, амфиболитами и амфиболсодержащими гнейсами. Они участвовали в строении останцов ремобилизованного в позднем архее долопийского фундамента Карелии. Эта же ассоциация пород подстилает лывозерскую свиту зоны Колмозеро — Воронье, базальную для лопия Кольского полуострова, и ее возрастные аналоги. Амфиболиты, амфиболовые гнейсы и плагиогнейсы (тоналиты) спорного генезиса составляют нижнюю часть беломорской, лапландско-кандалакшской (гранулитовой) и кольской серий. В ряде структур разрез саамия наращивается слоистыми гранатсодержащими гнейсами

Сводный упрощенный макет региональных стратиграфических схем докембрийских отложений советской части Балтийского щита

Стратиграфические подразделения и изотопный возраст, млн. лет

Общая шкала СССР				Региональная схема				Стратотипы и опорные стратогны				
Группа	Отдел	Система	Комплексы	Нагоризонты		Горизонты		Карелия		Кольский полуостров		
				Карелия	Кольский полуостров	Карелия	Кольский полуостров	Серия	Свита	Серия	Свита	Свита
Палеозой	Нижний	Кембрий	—	—	—	—	—	Балтийская	—	—	—	—
		Верхний	Венд	—	—	—	—	Котлинская Оштинская Яблоневская	Волоковская	Мякинская Пуманская Куяканская	—	—
			Рифей	—	—	—	—	Приладожская	—	Чаптомская	—	—
			—	—	—	—	—	—	Кильдинская	Карявинская Землепахтинская Поропелонская Палвинская Пярявинская	—	—
			—	—	—	—	—	—	Пашская Салминская Приозерская	П-ова Рыбачьего	Терская	—
Протерозой	Верхний	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Шокшинская Петрозаводская	—	Порыташская	—	
		—	—	—	—	—	—	Ладжская	Лепялампи Наатсельская Пялкярви	Пильгярвинская	Матерг Ламас Ждановская	
		—	—	—	—	—	—	Онежская	Суйсарская	Колосйок	Салмиярвинская	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Архей	Нижний	—	—	—	—	—	—	Заонежская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Тулумозерская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Медвежьегорская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Янгозерская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Маймъярвинская	—	—	—	
Архей	Верхний	—	—	—	—	—	—	Эннгиварская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Селецкая	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Вермасская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Пайозерская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Ожиярвинская	—	—	—	
Архей	Нижний	—	—	—	—	—	—	Тунгудская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Окуневская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Сумийский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Лопийский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Кейвский	—	—	—	
Архей	Верхний	—	—	—	—	—	—	Гимольский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Лобяжинский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Патчервундровский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Понийский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	3500 ± 100 (?)	—	—	—	
Архей	Нижний	—	—	—	—	—	—	Беломорская	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Сумийский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Лопийский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Кейвский	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	Гимольский	—	—	—	

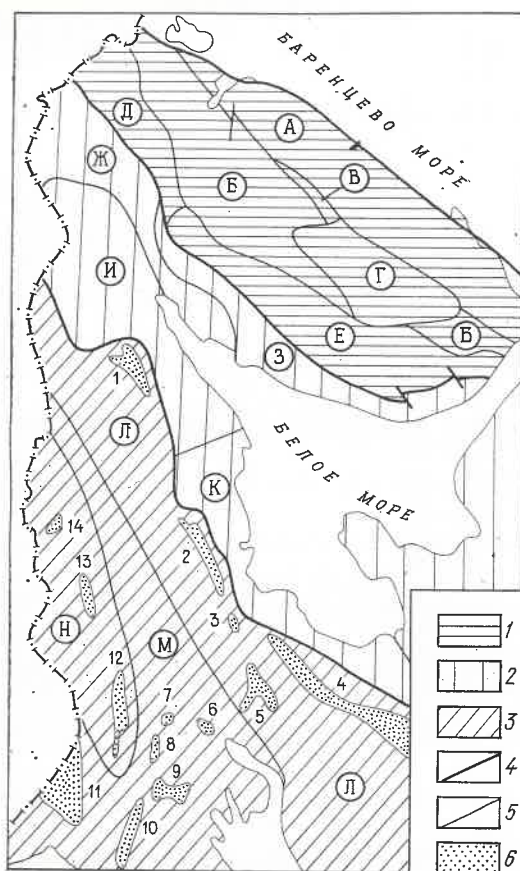


Рис. 1. Схема структурно-фациального районирования архея советской части Балтийского щита
1—3 — метаблоки: 1 — Кольский, 2 — Беломорский, 3 — Карельский; 4 — границы метаблоков; 5 — границы структурно-фациальных зон (А — Мурманской, В — Центрально-Кольской, Б — Колмозеро-Воронье, Г — Кейвской, Д — Аллареченско-Нотозерской, Е — Имандра-Варзугской, Ж — Лапландско-Кандалакшской, З — Терской, И — Енисейско-Лохской, К — Кемской, Л — Восточно-Карельской и Северо-Карельской, М — Центрально-Карельской, Н — Западно-Карельской); 6 — современные площади распространения верхнеархейских образований в Карелии: 1 — Куказерско-Тикшеозерская, 2 — Шуюзерская, 3 — Восточно-Идельская, 4 — Ветреного пояса, 5 — Выгозерская, 6 — Сайозерская (Остерская), 7 — Бергаульская, 8 — Совдозерская, 9 — Койкарско-Корбозерская, 10 — Хаутоваарская, 11 — Ялонваарская, 12 — Гимольская, 13 — Хедозеро-Большезерская, 14 — Костамукшская

с кианитом, силлиманитом, кордиеритом.

Часть исследователей усматривает между гнейсами и подстилающими их образованиями структурное несогласие и непосредственный переход упомянутых высокоглиноземистых гнейсов по простиранию (в районе Тикшеозера и ряде других мест) в гнейсы, которыми начинается лопийский комплекс. Допустимо поэтому предполагать, что гранат-кианитовые гнейсы составляют нижний стратиграфический

уровень лопия, а саамий — это не что иное, как комплекс амфиболит-плагиогранитоидных пород, знаменующий, по И. Д. Батиевой и И. В. Белькову, древнейшую вулканоплутоническую ассоциацию, положившую начало становлению сиалической коры — фундамента докембрия региона.

Однако ряд геологов считает, что к фундаменту относятся только керетская толща и ее аналоги. Если это так, то саамий в том виде, в каком он выделен сейчас, распадается на досаамский фундамент (тоналиты) и собственно саамий (гнейсово-амфиболитовая ассоциация). Верхние его члены (высокоглиноземистые кварцитовидные гнейсы) могут отойти к лопию.

В опорных разрезах (район месторождения Костамукша и северо-восточное крыло Лехтинского синклинория) лопийский комплекс подразделяется на две серии — контоксскую и гимольскую (район месторождения Костамукша) или на тикшеозерскую и пезозерскую (Лехтинская структура). В обоих разрезах эти серии разделены горизонтом гнейсов с линзами конгломератов. Такие конгломераты установлены сейчас на многих других лопийских структурах Карелии и Кольского полуострова, но их корреляционное значение пока не вполне ясно.

В Карелии более или менее обоснованно прослеживаются возрастные аналоги гимольской серии. Они обособлены здесь как стратон карельского подрегионального значения в ранге горизонта. Предположительно соответствующие ему по возрасту образования на Кольском полуострове выделены под названием лебяжинского горизонта. Общая мощность гимольского горизонта, объединяющего не менее трех разновозрастных свит (снизу вверх: суккозерскую, костамукшскую и сурламнинскую), более 2000 м, а лебяжинского, распадающегося на две части, — около 1000 м. В качестве завершающего члена кольского архея условно принят кейвский надгоризонт (выхчуртская и червуртская свиты мощностью до 700 м).

Догимольские отложения лопийского комплекса включают 4—5 страто-

нов ранга не ниже свиты, долебяжинские — два единых для Кольского подрегиона уровня — понойский и патчервундровский. Корреляция и определение ранга только что перечисленных стратиграфических единиц и объединение их в стратоны следующего, более крупного ранга (например, тундровского и кейвского для Кольского полуострова) неоднозначны.

В обобщенном виде полный разрез лопийского комплекса следующий (снизу вверх): гнейсы, частью высокоглиноземистые и кварцитовидные, с пачками и линзами (мощностью до сотен метров) валунно-галечных конгломератов; метавулканы коматиит-толеитовой серии с прослоями кремнисто-углеродистых сланцев; метавулканы андезит-липаритовой серии с прослоями и линзами железистых кварцитов; гнейсы, сланцы и кварциты (часто турбидитоподобные) с линзами конгломератов и брекчий; метавулканы основного, среднего и кислого состава известково-щелочной серии с горизонтами и прослоями кремнисто-железистых, углеродистых и карбонатных пород; сланцы, гнейсы и метавулканы кислого состава, местами с линзами конгломератов. Мощность комплекса в единых пересечениях достигает 6000 м, а суммарная его мощность намного выше.

Архейские образования глубоко метаморфизованы (до гранулитов) и подвергались региональной гранитизации дважды — в саамское время и на завершающих этапах лопийского времени. В первую эпоху гранитизации (предположительно до 3500 млн. лет) происходило становление чарнокит-эндербитовой серии пород, во вторую (2900—2750 млн. лет) — плагиоклазовых, плагиомикроклиновых и микроклиновых гранитоидов. Для обеих эпох характерно широкое развитие мигматизации. Разнообразен интрузивный магматизм основного и ультраосновного состава, проявлявшийся в архее неоднократно.

Региональная стратиграфическая схема нижнепротерозойских отложений. Нижняя граница карельского комплекса соответствует поверхности эпиархейской пенепленизации, вскрышей ультраметаморфиты и граниты лопия, изотопный возраст которых

2750±50 млн. лет [2, 12, 16]. Верхняя граница комплекса отвечает рубежу, отделяющему граниты рапакиви, имеющие изотопный возраст 1650±±50 млн. лет [4, 8, 13], и разновозрастные им супракрустальные толщи от последующих отложений рифея.

Нижнепротерозойские отложения региона представлены примерно 30-ю отличными друг от друга местными стратиграфическими разрезами, характеризующими 10 структурно-фациальных зон (рис. 2). Сводные разрезы таких зон большинством исследователей трактуются одинаково. Однозначна в целом и трактовка общей последовательности региональных стратонов. Однако вопросы об их положении в ряде конкретных разрезов и трассировании их границ на площади нередко остаются дискуссионными. Особенно это касается сумийско-сарнильского уровня. В нижнепротерозойских толщах восточной части Балтийского щита выделены шесть региональных стратонов ранга надгоризонтов (см. рис. 1).

Сумийский надгоризонт включает пять свит тунгуско-надвицкой надсерии в ее стратотипическом разрезе на северо-восточном крыле Лехтинского синклинория (снизу вверх): окуневскую (трансгрессивный мегаритм сероцветных терригенных отложений высокой степени зрелости с прослоями сульфидных кварцевых конгломератов, до 250 м), тунгудскую (лавы, туфобрекчии, туфы метабазальтов, до 2000 м), ожиярвинскую (лавы, туфолавы кварцевых порфиров и кератофиров, до 800 м), пайозерскую (турбидитовые карбонатно-кремнисто-конгломерато-туфогенные отложения, образующие трансгрессивно-регрессивный мегаритм, до 300 м) и вермасскую (лавы, лавобрекчии, туфолавы, туфы, туффиты андезито-диабазов, до 1600 м). С пайозерской и вермасской свитами предположительно сопоставляются соответственно железноротинская свита, сходная по составу и строению с окуневской (220 м), и ватулминская — преимущественно туфоконгломераты, туфы и туффиты с потоками лав андезито-диабазов (до 900 м), локально развитых на юго-западном крыле синклинория.

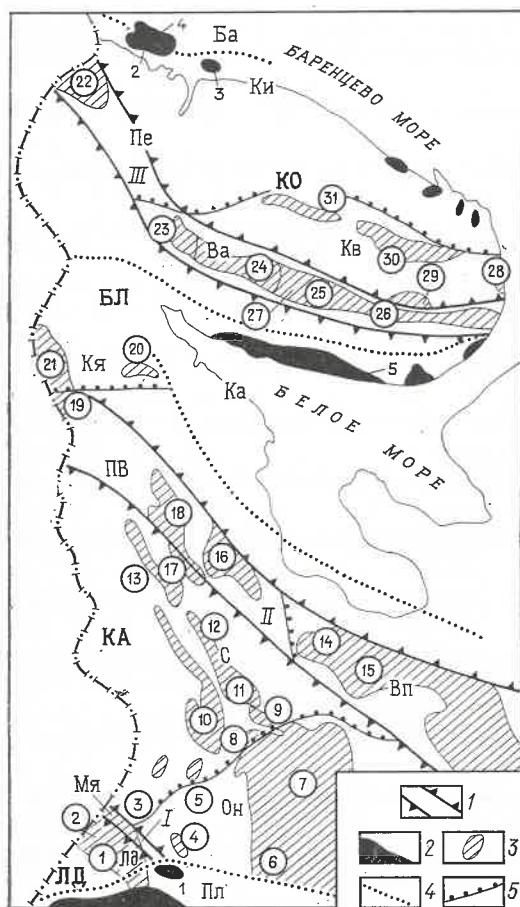


Рис. 2. Схема структурно-фациального районирования протерозоя советской части Балтийского щита. Мегаблоки: ЛД — Ладозский, КА — Карельский, БЛ — Беломорский, КО — Кольский; 1 — зоны сочленения мегаблоков: 1 — Малоянисъярвинская, II — Пана-Выгозерская, III — Печенгско-Варзугская; современные площади распространения отложений: 2 — верхнего протерозоя (1 — Приладожье, 2 — п-ов Средний и Айновы острова, 3 — о-в Кильдин, 4 — п-ов Рыбачий, 5 — Терский берег), 3 — нижнего протерозоя (структуры — цифры в кружках): 1 — Коккосельская, 2 — Пялкъярвинская, 3 — Малоянисъярвинская, 4 — Туломозерская, 5 — Суоярская, 6 — Прионежская, 7 — Онежская, 8 — Пялозерская, 9 — Кумсинская, 10 — Янгозерская, 11 — Сегозерская, 12 — Еломозерская, 13 — Чиркокемская, 14 — Южновыгозерская, 15 — Ветреного пояса, 16 — Лехтинская, 17 — Компаковская, 18 — Шомбозерская, 19 — Панаарвинская, 20 — Кукадозерская, 21 — Куоляярвинская, 22 — Печенгская, 23 — Мончеполуостровская, 24 — Прихининская, 25 — Варзугская, 26 — Пурнацкая, 27 — Южноварзугская, 28 — Усть-Понойская, 29 — Малокейвская, 30 — Большекейвская, 31 — Вороньтундровская; границы структурно-фациальных зон: 4 — верхнего протерозоя (Ба — Баренцевоморской, Ки — Кильдинской, Ка — Кандалякской, Пл — Приладожской), 5 — нижнего протерозоя (Пе — Печенгской, Кв — Кейвской, Ва — Варзугской, Кя — Куоляярвинской, ПБ — Пана-Выгозерской или Шуеозерской, Вп — Ветреного пояса, С — Сегозерской, Он — Онежской, МЯ — Малоянисъярвинской, ЛД — Ладозской — Пялкъярвинской на западе и Коккосельской на востоке — подзон)

Нижние три свиты, отражающие направленное увеличение площади осадконакопления и вулканизма, свя-

заны между собой постепенным переходом, соотносятся друг с другом трансгрессивно и знаменуют первый законченный цикл карельского осадконакопления и магматизма. Пайозерская свита формировалась в условиях некоторой регрессии и существенной палеотектонической перестройки района, фиксирующих конец первого и начало второго циклов раннепротерозойского пороодообразования.

Отсутствие достоверных критериев трассирования на площади границ фациально изменчивых толщ сумия не позволило принять предлагавшееся ранее [4, 6, 7, 15] его расчленение на подчиненные региональные стратонты. Более того, из-за корреляционных трудностей вероятные возрастные аналоги сумия на Кольском полуострове, согласно мнению многих участников совещания, пока оставлены в составе самостоятельного кейвского надгоризонта, завершающего разрез архейских образований данного субрегиона.

Изотопный возраст пород сумия, определенный по цирконам из кислых эффузивов ожиярвинской свиты, равен 2550 млн. лет [11] или несколько более. Предположительно разновозрастны с этими вулканитами гранитоиды типа Нуорунен и зоны метасоматитов, вмещающие апатитовое оруденение, возраст которого, по данным U-Pb метода, 2590 млн. лет. Многочисленные определения возраста пород и минералов дифференцированных интрузий, комагматичных эффузивам вермасской свиты, дают значения 2450 ± 50 млн. лет [8].

К сариолийскому надгоризонту в соответствии с установившимися традициями отнесена ассоциация полимиктовых, преимущественно грубообломочных пород и ленточнослоистых сланцев, местами с «плавающей» галькой и валунами. Последнее обстоятельство придает сланцам сходство с тиллоидами и позволяет рассматривать их в качестве регионального стратиграфического маркера. Названная ассоциация залегает на докарельском фундаменте или на породах сумия. В первом случае отчетливо выражено крупное структурно-метаморфическое несогласие, во втором — конгломераты и ассоциирующие с ними породы связаны с вулканитами зоной чередова-

ния или отделены от них перерывом, фиксируемым разрывом и признаками выветривания. Вблизи палеовулканов и бортовых уступов палеодепрессий устанавливаются значительные предсариолийские несогласия.

Сариолий характеризуется фациальной неоднородностью, различным количеством свойственных ему в конкретных разрезах полных трансгрессивно-регрессивных рядов отложений и вариациями мощностей от первых метров до 800 м. Это отразилось в обилии выделенных в нем приблизительно разновозрастных местных свит, нижние границы которых, вероятно, существенно «скользят» во времени.

На Кольском полуострове сариолийскому уровню принадлежат ахмалахтинская серия (телевинская свита и свита луостари) Печенги и кукшинская свита варзугского разреза. Многие геологи отстаивают сариолийский возраст полисарской свиты, рассматривая сейдореченскую свиту в составе сумия [10], другие полагают, что сариолию соответствует сейдореченская свита, тогда как полисарская знаменует начало ятулия. Наконец, третьи высказывают мнение, согласно которому сейдореченская свита является возрастным аналогом дотуломозерского (сегозерского) ятулия, а полисарская отвечает внутриятулийскому перерыву, фиксирующему рубеж между сегозерским и онежским циклами литогенеза [6].

Наличие зон чередования конгломератов и вулканитов в приконтактной зоне сумия и сариолия, несомненные следы вулканизма, синхронного сариолийским конгломератам, и наблюдаемые в ряде случаев латеральные переходы преимущественно конгломератовых ассоциаций в вулканогенные — все это позволило ряду геологов (включая некоторых авторов данной статьи) считать, что конгломераты сариолия частично разновозрастны вулканитам сумия (вермасская, ватулминская свиты и их аналоги) [4, 6, 7]. В принятой схеме отражены традиционные представления о принадлежности вулканитов к сумию, а конгломератов и ассоциированных с ними аркозов — к сариолию.

Ятулийский надгоризонт представлен отложениями третьего (сего-

зерского) цикла карельского литогенеза. Они несогласно, резко трансгрессивно и с корой выветривания в основании залегают на разновозрастных толщах сумия и сариолия или на различных образованиях докарельского фундамента.

В состав ятулийского надгоризонта, отвечающего по объему сегозерской серии в ее стратотипическом разрезе на оз. Сегозеро [3, 4, 6], включены четыре уверенно трассируемых на большей части территории горизонта (снизу вверх) — маймъярвинский, янгозерский, медвежьегорский и туломозерский. Два нижних и завершающий горизонты — существенно осадочные трансгрессивные, третий — осадочно-вулканогенный регрессивный с гомодромной направленностью магматизма; на границе медвежьегорского и туломозерского горизонтов обычны проявления химической коры выветривания.

Маймъярвинский горизонт (стратотип у оз. Маймъярви, в Янгозерской структуре) локализуется в сравнительно узких палеотектонических депрессиях, унаследованных от сариолия. Сложен он сероцветными мономиктовыми метапесчаниками и кварцевыми мартит-гематитовыми (редко с сульфидами) фукситсодержащими конгломератами мощностью до 700 м. В основании горизонта местами обособляется гранитно-конгломератово-аркозовый уровень, частью заканчивающийся серицитовыми сланцами (энингиваарская свита мощностью до 300 м). Горизонт завершается пачкой пестроцветных алевролитов, аргиллитов, доломитов и карбонатных песчаников (до 50 м), которая отмечает первый возрастной уровень красноватых докембрия восточной части Балтийского щита.

Янгозерский горизонт (стратотип — восточный берег оз. Сегозеро) слагает плащеобразное тело, залегающее на разновозрастных образованиях вплоть до пород докарельского фундамента. Горизонт представлен в основном сероцветными олигомиктовыми и полевошпатовыми метапесчаниками с прослоями аркозов, алевролитов и аргиллитов, местами известняков и доломитов. В его основании и иногда в кровле развиты мартит-гематитовые (от-

части с хлоритом) кварцевые конгломераты мощностью от первых сантиметров до 20 м, а на контакте с фундаментом — кора выветривания, делювиальная брекчия с доломитовым цементом, образования типа каличе, присутствуют редкие строматолиты. Мощность горизонта изменяется от первых метров до 1000 м и более.

Медвежьегорский горизонт (стратотип у г. Медвежьегорска) согласно перекрывает осадочные отложения янгозерского или залегает непосредственно на элювиальных брекчиях фундамента [1]. От предшествующего горизонта он отличается «зараженностью» осадочных пород туфогенным материалом, меньшей площадью распространения и резким преобладанием над осадочными породами лав диабазов. Среди последних на границах потоков наблюдаются линзы и прослы ишмоидных железистых кварцитов мощностью до первых метров, туффитов, редко доломитов, пестроцветных алевролитов и кварцито-песчаников средней и низкой зрелости. Граница янгозерского и медвежьегорского горизонтов проводится по контакту первого покрова ятулийских диабазов с перекрывающими терригенными породами. Однако ряд исследователей полагает, что эту границу лучше проводить по первому появлению признаков ятулийского вулканизма. Мощность горизонта в Карелии до 400 м, на Кольском полуострове (пирттиярвинская свита) она достигает 2300 м.

Тулумозерский горизонт (стратотип — разрез одноименной свиты по р. Туломе) отделен от подстилающих образований корой выветривания, соответствующей континентальному перерыву, ятулийской палеотектонической и палеогеографической перестройке территории. Его особенности — общая красноцветность и терригенно-карбонатный состав, наличие прослоев карбонатно-гематитовых (частью оолитовых) руд с марганцем, умеренная зрелость отложений, высокая магнетизальность карбонатных пород, присутствие в них строматолитов и онколитов. Все это придает тулумозерскому горизонту нижнего протерозоя восточной части Балтийского щита важное корреляционное значение. Возраст строматолитовых доломитов этого го-

ризонта определен Pb-Pb методом в 2300 ± 140 млн. лет. (А. Л. Искандерова и др., 1978 г.).

К тулумозерскому горизонту на Кольском полуострове уверенно относятся колосйокская свита Печенги и красноцветные терригенно-доломитовые отложения умбинской свиты Кейв. В варзугском разрезе возрастными аналогами тулумозерской свиты одни геологи считают нижнюю подсвиту ильмозерской свиты, другие — умбинскую свиту.

Мощность тулумозерского горизонта достигает 450 м, в отдельных случаях, вероятно, она значительно больше. Есть мнение, что нижняя часть тулумозерской свиты в ее стратотипическом разрезе (терригенно-карбонатные и карбонатные породы с линзами гематитовых руд и признаками вулканизма) соответствует по возрасту низам медвежьегорского горизонта [1, 10].

Людиковский надгоризонт, названный так В. А. Соколовым [19], объединяет заонежский и суйсарский горизонты, стратотипами которых служат типовые разрезы соответствующих свит в Онежской структуре. Обе эти свиты ранее рассматривались в составе онежской серии ятулия и (или) суйсария.

Заонежский горизонт — наиболее выдержанный региональный стратон и главный корреляционный уровень региональной стратиграфической схемы нижнепротерозойских отложений восточной части Балтийского щита. Он залегает на тулумозерском согласно или со следами местного размыва, фиксируемого осадочной брекчией. В ряде случаев предполагается, что на его нижней границе развита кора выветривания. Для этого горизонта характерно присутствие высокоуглеродистых карбонатно-кремнисто-туфогенных отложений (в том числе шунгитов), тесно чередующихся и фациально замещающихся вулканиками основного состава. Мощность его в стратотипическом разрезе достигает 600 м. На Кольском полуострове горизонт представлен отложениями ильмозерской свиты, объем которой дискусионен.

Суйсарский горизонт отделен от заонежского пачкой турбидитов преимуще-

ственно вулканомиктового состава, с линзами и прослоями конгломератов и седиментогенных брекчий, местами напоминающих олистостромы. Особенности данного горизонта — пикрит-базальтовый состав вулканогенных пород, ассоциирующихся с высокоуглеродистыми отложениями, и центральный тип извержений. Мощность его в стратотипическом разрезе более 1000 м, а в ряде других структур (салиярвинская свита печенгского разреза, верхняя подсвита ильмозерской свиты варзугского разреза) — более 2000 м.

Возраст сингенетичного оруденения углеродистых сланцев зоны Оутокумплу — Виханти в Финляндии (временных аналогов заонежской свиты), определен U-Pb методом, равен 2250 млн. лет [18]. Датировки цирконов из даек альбитовых диабазов, представляющих собой подводящие каналы заонежских и, возможно, суйсарских вулканитов, 2150—2200 млн. лет. Валуну подобных диабазов присутствуют в конгломератах, которыми начинается разрез ладожской серии.

Ливвийский надгоризонт предложен В. А. Соколовым. Стратотипом его является ладожская серия (ладожий) бассейна оз. Янисъярви, фиксирующая пятый цикл карельского литогенеза. По объему он отвечает калевию финских геологов в его типовом разрезе*.

В наиболее полных разрезах ливвийского надгоризонта в Ладужской и Печенгской структурах обособляются осадочные отложения двух полных трансгрессивно-регрессивных мега-ритмов, соответствующих ждановской свите и свите ламас в печенгском разрезе, паякъярвинской и наатсельской свитам в синклинали озер Большое и Малое Янисъярви. Разрез надгоризонта завершается переслаивающимися параамфиболитами и кварцитами свиты леппалампи у оз. Янисъярви (300 м) и мощной (до 4000 м) сложно построенной толщей вулканитов свиты матер в Печенгской структуре.

* Целесообразность введения терминов «людиковский» и «ливвий» вместо прежних укоренившихся наименований онежской и ладожской (калевий) серий оспаривается рядом геологов, в том числе некоторыми авторами данной статьи.

Для надгоризонта в целом характерны: разномасштабная турбидитная ритмичность, наличие подводно-оползневых смятий и нептунических даек, уровней, обогащенных конкрециями, прослоев проблематичных, возможно, органогенных образований, тиллоидов, высокомагнезиальных туффитов.

Верхняя возрастная граница надгоризонта уверенно датируется, согласно определениям возраста складчатых интрузий и метаморфитов, в 1950 ± 50 млн. лет (U-Rb, Rb-Sr и K-Ar методы).

Вепсийский надгоризонт по объему соответствует отложениям Прионежской впадины, долгое время ошибочно сопоставлявшимся с иотнием Финляндии. К тому же уровню отнесены: свиты илола в Приладожье (кварцито-песчаники и алевролиты, 500 м), порьяташская свита Печенги, конгломераты Каапокалио (до 30 м) на южном берегу оз. Панаярви, конгломераты Хирвинаволока (до 100 м), верхняя толща дацитов, риолитов и их туфов в варзугском разрезе.

На стратотипической площади в Прионежской впадине традиционно обособляются две свиты — петрозаводская (более 750 м), сложенная темно-серыми и серыми полевошпатово-кварцево-аркозовыми песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами с линзами седиментационных брекчий и конгломерато-брекчий, и шокшинская (до 1300 м), представляющая красноцветными олигомиктовыми и мономиктовыми кварцито-песчаниками с прослоями алевролитов, аргиллитов, кремнисто-гематитовых пород, кварцевых конгломератов, брекчий. Основание вепских отложений и их контакт с более древними образованиями нигде не установлены. Недостаточно выяснена и внутренняя структура надгоризонта.

Ряд исследователей отстаивают схему расчленения развитых здесь отложений на четыре свиты — петрозаводскую, шокшинскую, педасельгскую и пухтинскую. В. А. Шкворовым и А. П. Световым доказано эффузивное происхождение части ассоциирующихся с ними тел диабазов, ранее трактовавшихся как силлы. Возраст вепских отложений окончательно не выяснен. Исходя из имеющихся данных, он мо-

жет быть определен в интервале от 1900—1990 млн. лет (U-Pb возраст минерализации из цемента песчаников петрозаводской свиты) до 1500—1810 млн. лет (калий-аргоновые датировки диабазов, залегающих в шокшинских песчаниках [2, 16]).

Завершающему этапу карельского диастрофизма (от 1850 ± 50 до 1650 ± 50 млн. лет) соответствуют развитые за пределами рассматриваемой территории осадочно-вулканогенные и интрузивные образования субиотния и отложения о-ва Хогланд в Финском заливе. Ранее сформировавшиеся породы восточной части Балтийского щита в это время подвергались мощным динамотермальным преобразованиям, сопровождавшимся внедрением гранитов рапакиви и их аналогов, становлением протяженных линейных зон метасоматитов и гидротермального «прожилкования», глубиной денудацией, положившей начало формированию дорифейского пенеплена.

Региональное проявление метаморфизма и гранитного магматизма в раннем протерозое восточной части Балтийского щита началось в конце ливвийского (ладожского) времени, т. е. около 1950 млн. лет назад, и происходило с неодинаковой интенсивностью в различных зонах и в разные отрезки геологического времени; закончилось оно около 1650 млн. лет назад. Аналогичные процессы, протекавшие локально и гораздо менее интенсивно, по мнению ряда геологов, знаменовали конец сариолийского и людиковского (онежского) времени (соответственно 2450 и 2100 млн. лет). Менее определенно они наметились в конце третьего цикла раннепротерозойского тектогенеза, завершившегося формированием медвежьегогорского горизонта, по данным одних исследователей, или туломозерского, по мнению других. Этим событиям отвечают изотопные датировки 2350—2300 млн. лет, характерные для некоторых метаморфитов и гранитоидов, локализованных в докарельском фундаменте.

Региональная стратиграфическая схема верхнепротерозойских образований. Эта схема увязывает между собой пять местных стратиграфических схем, характеризующих основные площади развития рифейских и вендских

отложений данного региона (см. рис. 2): Приладожскую, п-ова Среднего и Айновых островов, о-ва Кильдин, п-ова Рыбачьего и Терского берега. Сопоставление указанных отложений с гомофациальными толщами более полных разрезов Русской плиты, Урала и особенно п-ова Варангер (Норвегия), а также изотопные определения возраста (в основном калий-аргоновым методом по глаукониту) и анализ содержащихся в породах органических остатков позволили выделить здесь аналоги четырех подразделений общей стратиграфической шкалы верхнего протерозоя — среднего рифея (юрматиния), верхнего рифея (каратавия), кудаша и венда.

Юрматиний (средний рифей) в разных разрезах региона включает: приозерскую (красноцветные песчаники, гравелиты, конгломераты, 370 м), салминскую (базальты, порфиры, туфы, красноцветные песчаники с прослоями алевролитов, гравелитов и конгломератов, 300 м) и пашскую (красноцветные песчаники, 155 м) свиты Приладожья; мотовскую, вестейновскую, лонскую, перевальную, зубовскую и ципнаволоцкую свиты комплекса п-ова Рыбачьего (3500 м, по Н. Г. Коноплеву, и более 8000 м [5, 9]), сложенные сероцветными полимиктовыми песчаниками и гравелитами, ритмично чередующимися с разнообразными конгломератами, сланцами, алевролитами и аргиллитами; турьинскую (сероцветные фенитизированные песчаники, 300 м) и терскую (красноцветные аркозовые песчаники, гравелиты, алевролиты и аргиллиты, 600 м) свиты Терского берега.

Данных для детальной корреляции этих отложений нет. Поэтому общая для региона последовательность свит строго не доказана. Условно принято, что терская свита моложе комплекса п-ова Рыбачьего, а последний моложе рифейских отложений Приладожья и турьинской свиты, для части которых не исключен и раннерифейский (бурзянский) возраст.

Каратавий (верхний рифей) в пределах региона объединяет отложения кильдинской серии [9] в составе (снизу вверх): пряярвинской (280 м), палвинской (160 м), поропелонской (320 м), землепахтинской (700 м) и

каруярвинской (150 м) свит п-ова Среднего, а также соответствующих им по возрасту коровинской (200 м), пригонной (180 м), южнокильдинской (170 м) и лихринской (500 м) свит о-ва Кильдин. Среди пород всех перечисленных свит преобладают серые, светло-серые и зеленоватые, реже красноцветные песчаники олигомиктового и полевошпатового, а в палвинской свите и монокварцевого состава, алевролиты, аргиллиты и глинистые сланцы. Коровинской, палвинской и каруярвинской свитам свойственны карбонатные образования, в первом случае онколит-строматолитовые, в последнем — с глиптоморфозами по кристаллам каменной соли. Набор микрофитолитов характерен для верхнего рифея.

Возраст отложений, относимых к каратавию, определяется калий-аргоновым методом по глаукониту из песчаников пряярвинской, коровинской (1010—1054 млн. лет), землепахтинской и лихринской (758—775 млн. лет) свит.

Кудаш представлен на Терском берегу чапомской свитой (250 м), а в Приладожье — приладожской (90 м). Это пестроцветные песчаники, алевролиты, аргиллиты, доломиты, иногда с глиптоморфозами по каменной соли и богатым комплексом акритарх. Последние с учетом стратиграфического положения толщ, а для приладожской свиты и набора микрофитолитов указывают на принадлежность толщ к кудашу.

Венд установлен в Приладожье, где включает базальные слои осадочного чехла Русской плиты. На п-ове Среднем и Айновых островах он входит в состав волоковой серии. В первом случае к венду относятся (снизу вверх) яблоновская (96 м), оштинская (110 м) и котлинская (220 м) свиты, сложенные песчаниками и глинами, а в основании — и тиллитами лапландского горизонта, которым начинается венд, во втором — волоковая серия залегает с крупным размывом и несогласно на разновозрастных отложениях кильдинской серии. Она включает (снизу вверх) куяканскую (240 м), пуманскую (150 м) и мякинскую (90 м) свиты, представленные разнообразными, частью фосфатоносными полимик-

товыми песчаниками, содержащими в основании горизонт валунно-глыбовых конгломерато-брекчий, сверху частые и мощные прослои алевролитов, аргиллитов, иногда с конкрециями и глинистыми катунями. Волоковая серия прорывается дайками габбро-диабазов, калий аргоновый возраст которых 600 млн. лет.

Дискуссионными вопросами стратиграфии верхнепротерозойских отложений региона остаются: возрастное положение образований п-ова Рыбачьего и их соотношения с разрезом п-ова Среднего; объем, номенклатура, мощность свит и подсвит п-ова Рыбачьего [5], возрастное соотношение салминской свиты с отложениями Пашского грабена, средне- или раннерифейский возраст базальных горизонтов рифейских толщ Приладожья и Терского берега.

Нерешенные вопросы стратиграфии докембрия восточной части Балтийского щита (частично о них уже говорилось выше) можно разделить на местные, возникшие из-за недостатка регионально-геологических данных, и более широкие, обусловленные по крайней мере тремя общими причинами — недостаточной разработанностью принципиальных основ стратиграфической периодизации докембрия, что затрудняет оценку ранга и геологического значения границ стратонтов; несовершенством методической базы корреляции разрезов и трассирования стратиграфических границ в пределах фациально изменчивых и различно метаморфизованных отложений докембрия; неразработанностью системы стратотипов докембрийских стратонтов и их границ.

Исходя из вышеизложенного можно сформулировать следующие задачи совершенствования стратиграфии докембрия СБЩ.

1. Строгое закрепление стратотипов стратиграфических подразделений, комплексное изучение опорных разрезов стратонтов и типизация их границ.
2. Расширение методической базы корреляции отложений: углубление литолого-фациальных, палеовулканологических и палеогеографических исследований, дальнейший поиск геохимических и палеоклиматических маркирующих уровней, постановка пале-



ХРОНИКА

С. И. РОМАНОВСКИЙ (ВСЕГЕИ)

Петербургская (1897 г.) и Московская (1937 г.) сессии Международного геологического конгресса

За 106 лет, прошедших со времени I сессии МГК (Париж, 1878 г.), этот международный форум геологов собирался 26 раз. Каждая из сессий являлась этапной для развития геологической науки, поскольку на них обсуждались ключевые проблемы, степень разработанности которых определялась уровнем достижений национальных геологических школ. Эти проблемы фиксировали также те «болевые точки» науки, на которых требовалось сосредоточить внимание ведущих ученых разных стран. Право выбора обсуждаемых проблем по сложившейся традиции предоставляется стране — организатору очередной сессии МГК.

Сессии МГК проходили в 19 странах. В 13 из них конгресс собирался по одному разу, в четырех — по два и лишь две страны (Франция и СССР) удостоились чести принимать конгресс трижды. В нашей стране состоялась VII (Петербургская) сессия 1897 г. и XVII (Московская), которая прошла в 1937 г. В августе 1984 г. в Москве начнется работа XXVII сессии МГК. В ее преддверии уместно вспомнить об уже проводившихся в нашей стране геологических конгрессах.

Сопоставим и проанализируем следующие даты, которые тесно взаимосвязаны: 1878 г. — I (Парижская) сессия МГК, с нее ведет свою историю ряд международных комиссий, в частности Международная комиссия по унификации геологических обозначений (представителем от России в ней был профессор Петербургского горного института В. И. Мёллер); 1881 г. — II (Болонская) сессия МГК, на которой было принято решение о создании Международной геологической карты Европы (представителем русской подкомиссии этой карты сначала был избран В. И. Мёллер, а в 1882 г. его сменил А. П. Карпинский); 1882 г. — организация в России первого государственного геологического учреждения — Геологического комитета, а вместе с тем и государственной геологической службы; 1897 г. — VII (Петербургская) сессия МГК.

Действительно, участие в таких крупных международных предпрятиях, как издание геологической карты Европы, предполагало наличие в каждой стране самостоятельной геологической службы, ведущей планомерное изучение геологического строения своей территории в целях составления детальных геологических карт. Большинство западноевропейских стран ко времени I сессии МГК располагало такой службой. И лишь Россия не торопилась с ее организацией несмотря на то, что проекты создания первого государственного геологического учреждения составлялись русскими геологами задолго до I сессии МГК. Мы не будем излагать все перипетии этой борьбы, она подробно описана в монографии

[1]. Отметим лишь, что сессии МГК сыграли положительную роль в деле создания первого в России государственного геологического учреждения.

В январе 1880 г. В. И. Мёллер, отправляя в Горный департамент очередной проект геологической службы, писал: «Будет ли принят который-либо из моих новых проектов или нет, это, во всяком случае, последняя моя попытка ввести хотя некоторую систему в дело геологического исследования России... Время не ждет. Осенью будущего года имеет состояться второй геологический конгресс в Болонье. Если в непродолжительном времени не будет у нас приступлено к систематическим геологическим работам, не станет почвы и для моей миссии в качестве делегата Геологического конгресса и мне останется лишь одно — сложить с себя, по независящим обстоятельствам, эту обязанность и поставить о том в известность председателя и секретаря Международной комиссии по унификационному вопросу» [8, с. 10].

Россия, таким образом, оказалась перед фактом невыполнения своих международных обязательств. Нельзя утверждать, что это обстоятельство было решающим, но, бесспорно, оно способствовало организации государственной геологической службы. 31 января (н. ст.) 1882 г. в России был, наконец, образован Геологический комитет.

Восемь первых «государственных геологов» приступили к выполнению своей главной задачи — планомерному изучению геологического строения Европейской России и Урала и составлению геологической карты 10-верстного масштаба. Материал этой карты должен был стать основой русских листов Международной геологической карты Европы. Россия усилием Геологического комитета выполнила свои международные обязательства в срок, ровно за 10 лет. В 1893 г. 60-верстная геологическая карта Европейской России и Урала была опубликована, и в 1894 г. директор Геологического комитета акад. А. П. Карпинский демонстрировал ее делегатам VI (Цюрихской) сессии МГК, на которой было принято решение о созыве очередной сессии конгресса в 1897 г. в Петербурге. Уже сам факт проведения МГК в России свидетельствовал о высоком международном авторитете, который сумела завоевать русская геологическая служба менее чем за 15 лет своего существования.

VII (Петербургская) сессия МГК. В Оргкомитет VII сессии МГК вошел Геолком в полном составе, а также все ведущие геологи из русских университетов и Петербургского горного института. Председателем Оргкомитета стал А. П. Карпинский, его заместителем А. А. Иностранцев, генеральным секретарем Ф. Н. Чернышев. В явной связи с прибли-

онтологических, палеомагнитных и радиогеохронологических исследований.

3. Углубленное изучение особенностей метаморфизма и проведение структурного анализа полиметаморфических комплексов.

4. Обязательное прослеживание и комплексное изучение границ литостратиграфических единиц при геологической съемке, установление латеральных соотношений этих единиц.

Самостоятельную задачу представляет совершенствование стратиграфической терминологии и номенклатуры докембрия восточной части Балтийского щита.

Современные достижения в познании стратиграфии докембрия СВЩ, являющейся стратотипической местностью для нижнего докембрия СССР, выходят далеко за рамки данного региона. Так, двучленное деление балтийского архея — явление общего характера, а материалы по нижнепротерозойским толщам других регионов позволяют думать, что по крайней мере часть надгоризонтов стратиграфической схемы нижнего протерозоя Балтийского щита будет переведена в ранг межрегиональных или даже общих единиц.

В связи с изложенным новое значение приобретает предложение о выделении нижнего протерозоя СССР под названием «карелий», принятое на Всесоюзном совещании по стратиграфии докембрия в Уфе в 1977 г. [4, 6, 8, 9, 13], но не утвержденное МСК. Как было отмечено на петрозаводском совещании, необходимо вновь рассмотреть этот вопрос на предстоящей сессии МСК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология, литология и палеогеография ятулийских отложений Центральной Карелии/ В. А. Соколов, Л. П. Галдобина, А. В. Рылеев и др. Петрозаводск, изд. Карельск. фил. АН СССР, 1970.
2. Геохронологические рубежи и геологическая эволюция Балтийского щита. Отв. ред. К. О. Кратц. Л., Наука, 1978.
3. Гилярова М. А. Стратиграфия, структура и магматизм докембрия восточной части Балтийского щита. Л., Недра, 1974.
4. Докембрий Русской платформы и ее складчатого обрамления (объяснительная записка к геологической карте со снятыми фанерозойскими отложениями масштаба 1:5 000 000). Отв. ред. Ю. О. Беккер. Л., ВСЕГЕИ, 1974.
5. Коноплева Н. Г. О стратиграфии рифейских отложений полуострова Рыбачьего. — В кн.: Новые данные по геологии и стратиграфии северо-запада РСФСР. Вып. 6. Л., 1977, с. 62—80.
6. Негруца В. З. Основные подразделения региональной стратиграфической шкалы докембрия восточной части Балтийского щита. — Докл. АН СССР, 1979, т. 244, № 1, с. 165—169.
7. Негруца Т. Ф. Палеогеография и литогенез раннего протерозоя области сочленения карелид и беломорид. Л., изд. ЛГУ, 1979.
8. Общие вопросы расчленения докембрия СССР. Отв. ред. Ф. П. Митрофанов. Л., Наука, 1977.
9. Проблемы геологии докембрия Балтийского щита и покрова Русской платформы. Науч. ред. Л. И. Салоп. Л., изд. ВСЕГЕИ, 1971. (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер., т. 175).
10. Проблемы геологии докембрия Карельского региона. Отв. ред. В. А. Соколов. Петрозаводск, изд. Карельск. фил. АН СССР, 1976.
11. Проблемы изотопного датирования процессов вулканизма и осадкообразования. Отв. ред. Н. П. Щербак. Киев, Наукова думка, 1982.
12. Пушкарев Ю. Д., Кравченко Э. К., Шестаков Г. И. Геохронометрические реперы докембрия Кольского полуострова. Л., Наука, 1978.
13. Семихатов М. А. Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР: анализ и уроки. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1979, № 11, с. 5—22.
14. Стратиграфическая классификация. Ред. Б. С. Соколов. Л., Наука, 1980.
15. Стратиграфия и изотопная геохронология докембрия восточной части Балтийского щита. Отв. ред. К. О. Кратц. Л., Наука, 1971.
16. Тугаринов А. И., Бибикина Е. В. Геохронология Балтийского щита по данным цирконометрии. М., Наука, 1980.
17. Харитонов Л. Я. Стратиграфия и структура карелид восточной части Балтийского щита. М., Недра, 1966.
18. Jatulian geology in the eastern part of the Baltic shield. — In: The committee for scientific and Technical Cooperation between Finland and the Soviet Union. Rovaniemi, 1980.
19. Simonen A. The Precambrian in Finland. — Geol. Surv. Finland, 1980, Bul. 304.

жающим конгрессом русское правительство в 1897 г. увеличило численность Геологического комитета с 8 до 22 человек, а ассигнования — с 33 100 до 74 900 руб. в год.

Оргкомитету предстояло провести огромную работу. Помимо сложностей организационного характера главные затруднения касались организации геологических экскурсий. Несмотря на то что уже было отснято большинство листов 10-верстной геологической карты Европейской России и Урала, руководителям экскурсий надо было досконально знать строение и интерпретацию демонстрируемых разрезов. Поэтому летние месяцы 1896 г. посвящались главным образом детальным съемкам территорий, по которым предстояло провести экскурсии. В этой работе приняли участие Н. А. Головкинский, А. П. Карпинский, А. Е. Лагорио, С. Н. Никитин, А. П. Павлов, Н. А. Соколов, К. К. Фохт, Ф. Н. Чернышев, Ф. Б. Шмидт, А. А. Штукенберг и др.

В декабре 1896 г. Оргкомитет окончательно утвердил научную программу VII сессии МГК. На ней предстояло обсудить следующие вопросы: 1) стратиграфическую классификацию (основания ее построения), 2) правила введения в стратиграфическую номенклатуру новых названий, 3) петрографическую классификацию и номенклатуру.

Все эти вопросы — не были новыми для МГК. Первые два из них обсуждались еще на III (Берлинской) сессии в 1885 г. и на IV (Лондонской) сессии МГК в 1888 г. Хотя С. Н. Никитин и Ф. Н. Чернышев в обзоре, посвященном этим сессиям [6], пришли к заключению, что единодушное соглашение по этому вопросу между геологами невозможно, все же было решено еще раз вернуться к проблеме стратиграфической классификации.

Перед началом конгресса были проведены три геологические экскурсии: Уральская (ее руководили А. П. Карпинский и Ф. Н. Чернышев), Эстонская (Ф. Б. Шмидт) и Финляндская (Я. И. Седергольм и В. Рамзай). Во время Уральской экскурсии делегатам конгресса были показаны Миасские золотые россыпи, Ильменские горы, гора Высокая, марганцевые рудники и др. Маршрут пролегал из Москвы через Самару (Куйбышев), Уфу, Челябинск, Екатеринбург (Свердловск), Нижний Тагил, Пермь, Нижний Новгород (Горький). В экскурсии приняли участие около 140 человек, среди них были известный американский геолог, один из творцов теории геосинклиналей, 86-летний Джеймс Холл, французский геолог Марсель Бертран, немецкий минералог П. Х. Грот и др.

Всем участникам был выдан отпечатанный на французском языке «Гид экскурсий VII геологического конгресса», включавший описание всех планировавшихся экскурсий. Это была книга (660 с. на мелованной бумаге) с большим количеством фототипических картин, рисунков, профилей и детальных геологических карт. Для удобства пользования книга была разделена на 36 отдельных брошюр. Вместе с «Путеводителем» делегаты получили и изданную Геологическим комитетом в 1893 г. «Геологическую карту Европейской России и Урала» 60-верстного масштаба.

В отчете о деятельности Геологического комитета за 1897 г. А. П. Карпинский высоко

оценил изданный к конгрессу «Путеводитель»: «...останется навсегда свидетелем, каких результатов можно достигнуть в короткий срок при дружной общей работе. Путеводитель этот, без сомнения, представляет крупный вклад в геологическую литературу, давая не только маршрутное, но и общее описание геологического строения Европейской России с включением Урала и Кавказа; существенно отличаясь от гидов, изданных к прежним конгрессам и являясь по некоторым вопросам первоисточником, он никогда не утратит научного значения» [3, с. 42].

Конгресс открылся в Петербурге 17 (29) августа 1897 г. Заседания проходили в Зоологическом музее Академии наук, одном из самых крупных помещений столицы. Оно могло принять около 1000 делегатов, а только официальных участников VII сессии МГК было зарегистрировано 704 из 27 стран. Это более чем вдвое превышало самую представительную IV (Лондонскую) сессию 1888 г. В Петербург прибыл весь цвет мировой геологии: из Германии приехали Ф. П. Рихтгофен, К. Циттель, Ф. Циркель и П. Х. Грот, из Франции — А. Годри, М. Бертран и Ш. Барруа, из Великобритании — Дж. Мюррей, из США — Дж. Холл и У. Х. Эммонс, из Италии — Г. Капеллини, из Швейцарии — Э. Ренвье, А. Гейм и Ф. А. Форель и многие другие известные геологи.

Президентом конгресса был избран акад. А. П. Карпинский. Главный вопрос, ставший предметом обсуждения на конгрессе, касался оснований построения стратиграфической классификации. Предстояло решить, какую классификацию целесообразно сохранить в науке: искусственную, сложившуюся исключительно на «исторических данных», т. е. учитывающую место и время введения новых стратиграфических подразделений, или естественную, в основу которой должны лечь принципы установления новых подразделений шкалы, фиксирующих общие физико-географические перемены на всем земном шаре. Данная проблема окончательно не была решена на Петербургской сессии МГК, но именно на ней она была сформулирована в том виде, в каком ее трактуют современные стратиграфы. По вопросу стратиграфической классификации конгресс пришел к выводу, что следует оставаться на почве исторического метода, но стремиться все к большей его естественности. Совету конгресса было поручено назначить комиссию для выработки принципа классификации в духе этого решения.

Проблема стратиграфической классификации и не могла быть решена на Петербургской сессии конгресса (как, впрочем, и ни на какой другой), ибо ее решение лежит не столько в конкретно научной плоскости, сколько в исходных методологических установках, которые существенно различны у представителей разных научных школ.

Не было выработано общей точки зрения и в вопросе петрографических классификаций. Однако большой интерес представили конкретные разработки таких классификаций, не утратившие значения вплоть до настоящего времени. Так, немецкий геолог И. Вальтер предложил все осадочные горные породы подразделить на четыре группы: механогенные,

хемогенные, органогенные и вулканогенные. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг на основе химического состава (коэффициента кислотности) магматических пород разделил их также на четыре группы: ультраосновные, основные, средние и кислые [2]. Обе эти классификации, существенно детализированные, используются геологами и в наши дни.

Большое научное значение имел на конгрессе доклад Н. И. Андрусова, посвященный морским геологическим исследованиям. 22 августа 1897 г. он сделал заявление, подписанное 18 геологами из разных стран; в нем содержалось предложение об организации «Международного плавучего института» с целью комплексного изучения Мирового океана. Конгресс единодушно поддержал это предложение и просил А. П. Карпинского довести его до сведения правительств разных стран. Однако еще долгие годы по разным причинам это предложение не могли реализовать.

После конгресса состоялись экскурсии на Кавказ и в Крым. Участники экскурсий разделились на три группы. Одна группа следовала на Кавказ через Ростов, Донбасс, Минеральные Воды и Владикавказ (Орджоникидзе), другая — через Нижний Новгород (Горький), Казань, Симбирск (Ульяновск), Саратов, Царицын (Волгоград), Астрахань и Владикавказ; наконец, маршрут третьей группы проходил через Курск, Киев, Николаев, Херсон, Владикавказ. Соединившись в Тбилисе (Тбилиси), все участники направились в Баку. Экскурсиями руководила большая группа геологов: П. Я. Армашевский, Н. И. Андрусов, А. Е. Лагорио, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, С. Н. Никитин, А. П. Павлов, Н. А. Соколов, К. К. Фохт.

Именно с Петербургской сессией МГК связана история учреждения премии имени Леонида Спендиарова [5]. Первая премия имени Л. Спендиарова была присуждена А. П. Карпинскому на VIII (Парижской) сессии МГК в 1900 г. В дальнейшем она вручалась еще на 15 сессиях конгресса.

Президент Петербургской сессии МГК А. П. Карпинский, подводя итоги проделанной русскими геологами работе, писал в 1898 г., что Международный геологический конгресс в России прошел с исключительным успехом, на который ближайшие его устроители не могли надеяться [3].

Профессор Баварской Академии наук, крупнейший палеонтолог К. Циттель писал 29 июня 1898 г. А. П. Карпинскому: «На будущей неделе Вы, вероятно, получите благодарственный адрес в кожаном футляре от участников превосходных геологических экскурсий прошлого года. Это лишь слабое выражение нашей благодарности за бесконечно большую работу и труд понесенный Вами для нас» [7, с. 238].

XVII (Московская) сессия МГК состоялась в Москве в июле 1937 г., ровно через 40 лет после VII сессии МГК. За эти годы в стране произошли коренные преобразования. Уже два десятилетия она шла по пути социалистического строительства. Резко расширилась сеть учреждений геологической службы. Если раньше планомерное изучение геологического строения страны вели только сотрудники Гео-

логического комитета в Петербурге, то уже к 1926 г. функционировали Московское, Украинское, Уральское, Северо-Кавказское, Сибирское, Среднеазиатское и Дальневосточное отделения Геолкома; в 1929 г. на базе отделов и секций Геологического комитета были организованы самостоятельные геологоразведочные институты: по цветным металлам, черным металлам, углю, нефти, нерудным ископаемым, гидрогеологии, которые в 1931 г. вновь объединились в единый комплексный институт — ЦНИГРИ; в 1930 г. создаются 12 территориальных геологических управлений. Таким образом, в 30-х годах, ко времени XVII сессии МГК, в СССР функционировала разветвленная сеть геологической службы, усилиями которой были открыты не только сотни крупных месторождений полезных ископаемых, но и составлены геологические карты всех промышленно важных районов страны.

Советские геологи стали готовиться к конгрессу с 1933 г., как только на XVI (Вашингтонской) сессии МГК было принято решение о проведении XVII МГК в СССР. Был создан Организационный комитет во главе с почетным председателем, президентом АН СССР акад. А. П. Карпинским. Председателем Оргкомитета стал вице-президент АН СССР акад. И. М. Губкин, его заместителями — академики А. А. Борисак и В. А. Обручев, а генеральным секретарем акад. А. Е. Ферсман [10].

В программу работ этой сессии были включены следующие темы: 1) проблема нефти и подсчет ее мировых запасов, 2) геология каменноугольных месторождений, 3) докембрий и полезные ископаемые в местах его развития, 4) пермская система и ее стратиграфическое положение, 5) взаимная связь тектонических процессов, магматических образований и рудных месторождений, 6) тектонические и геохимические проблемы Азии, 7) месторождения редких элементов, 8) геофизические методы в геологии, 9) история геологических знаний, 10) геология Арктики и Антарктики. Все эти проблемы были наиболее актуальными для геологии того времени.

К конгрессу ЦНИГРИ — ВСЕГЕИ выпустили новую геологическую карту СССР в масштабе 1:5 000 000 (на восьми листах), на которой впервые было показано геологическое строение всей территории страны. Эта карта, как отметил Я. С. Эдельштейн [11, с. 94], представляла собой документ, «отмечающий новый знаменательный этап в развитии нашей советской и мировой геологии». Были опубликованы также путеводители намечавшихся экскурсий, сборник тезисов докладов, представленных на конгресс. Эти материалы и предварительный список членов конгресса вместе со специально изготовленным значком вручались всем делегатам, а их было зарегистрировано 949 из 50 стран. Это была самая представительная по числу участников сессия конгресса.

Многочисленные делегации прибыли из США, Франции, Великобритании, Чехословакии, Японии, Испании, Швейцарии. Особенностью этой сессии было и то, что в ней участвовали представители стран, ранее не посылавшие своих делегатов на геологические конгрессы, — Китая, Турции, Аргентины, Афганистана, Алжира и др.

В заседаниях XVII сессии МГК приняли участие такие выдающиеся геологи, как П. Фурмарье (Бельгия), Э. Бейли (Великобритания), К. Данбар, Г. Хесс, Ф. Смит, М. Голдман и Дж. Уильямс (США), П. Эскола (Финляндия), Х. Баклунд (Швеция), А. Гейм (Швейцария), Т. Ватанабе и Ш. Токунага (Япония), Ш. Жакоб (Франция) и многие другие. Среди советских участников конгресса были все видные геологи нашей страны.

До начала заседаний конгресса были проведены четыре экскурсии продолжительностью по 19 дней (с 1 по 20 июля):

1. Северная (Ленинград — Петрозаводск — Онежское озеро — Медвежья гора — Кандалакша — Кировск — Ленинград — Москва). В экскурсию, которой руководил А. А. Полканов, участвовал 41 человек. Экскурсанты ознакомились с коренными выходами древнейших докембрийских образований Карелии и Кольского полуострова.

2. Южная (Москва — Донбасс — Крым — Кривой Рог — Киев — Москва). Руководитель — П. И. Степанов, участвовало 35 человек. Геологам были продемонстрированы угленосные отложения карбона Донецкого бассейна, железистые кварциты Кривого Рога, сложная тектоника Крымского полуострова.

3. Кавказская (Москва — Минеральные Воды — Орджоникидзе — Военно-Грузинская дорога — Тбилиси и далее двумя группами: одна — через Армению на побережье Черного моря, другая — через Грузию на Черноморское побережье Кавказа). Руководил экскурсией А. П. Герасимов; она была самой многочисленной — 93 человека.

4. Пермская (Москва — Куйбышев — Уфа — Стерлитамак — Кунгур — Пермь — Соликамск — Казань — Москва). Вел 39 делегатов конгресса Д. В. Наливкин. Эта экскурсия была чисто стратиграфической: иностранные геологи осмотрели классические разрезы пермской системы, которые резко отличаются от западноевропейских.

К началу работы конгресса в фойе концертного зала Московской консерватории, где проходили пленарные заседания, были развернуты выставки минеральных богатств СССР и геологических карт страны. Тематические выставки были также организованы в Геологическом музее им. А. П. Карпинского (минералогические коллекции Академии наук СССР и новые, открытые за последние 20 лет, минералы), в музее МГРИ, в ВИМСе, музее Палеозоологического института АН СССР, где была представлена уникальная Северо-Двинская галерея проф. В. П. Амалицкого — одна из крупнейших в мире коллекций прекрасно сохранившихся полных скелетов пермских рептилий (он открыл их в 1895—1899 гг. в обнажениях по р. Северной Двине вблизи Котласа). Уникальные образцы горных пород и фауны были выставлены в витринах Центрального геологоразведочного музея им. акад. Ф. Н. Чернышева в Ленинграде, куда делегаты конгресса приезжали на два дня (24 и 25 июля).

В дни пленарных заседаний регулярно собирался Совет XVII сессии МГК. На первом его собрании (21 июля) почетным президентом сессии избрали Председателя ЦИК СССР М. И. Калинина, а президентом И. М. Губки-

на. Глава советской делегации акад. В. А. Обручев предложил Совету обсудить вопрос о признании русского языка официальным языком конгресса. После всестороннего обсуждения было решено отложить окончательное рассмотрение этого вопроса до следующей сессии конгресса. На заседании Совета в последний день работы конгресса постановили присудить премию имени Леонида Спендиарова научному сотруднику Института горючих ископаемых АН СССР В. П. Батурину за работу по палеогеографии Юго-Восточного Кавказа, в которой он детально исследовал отложения продуктивной толщи Апшеронского полуострова.

Торжественное открытие XVII сессии МГК состоялось 21 июля в 11 ч в Большом зале Московской консерватории. Глава делегации США Ф. Смит от имени президента предыдущей сессии по традиции произнес речь, в которой дал высокую оценку достижениям советской геологии: «Расцвет геологической активности во всех посещенных нами местах Советского Союза доказал нам, насколько большой удачей было получение нами приглашения собраться на этот конгресс в пределах вашей страны и получить взаимную зарплату в столь благоприятных условиях» [9, т. 1, с. 146].

Президент конгресса И. М. Губкин, выразив благодарность всем ученым, принявшим приглашение Оргкомитета, отметил, что «... все собравшиеся здесь на конгрессе представители разных стран проникнуты единой мыслью, единым желанием работать на пользу мира во всем мире, что мы все с великим отвращением и негодованием относимся ко всякой попытке нарушить мир, вовлечь человечество в братоубийственную войну, использовать наши научные достижения не на борьбу за овладение силами природы и использование их на благо всех людей, а на их взаимное истребление» [9, т. 1, с. 148—149].

После приветственных речей президента АН СССР акад. В. Л. Комарова и главы советской делегации акад. В. А. Обручева, посвятившего свое выступление памяти А. П. Карпинского (он скончался 15 июля 1936 г.), с докладом «Мировые запасы нефти» выступил И. М. Губкин.

Это был основополагающий доклад уже хотя бы потому, что ни один из предшествовавших конгрессов не ставил вопроса о подсчете запасов нефти в масштабе всего мира [9]. В нем впервые была предложена единая классификация категорий запасов и методика их подсчета. И. М. Губкин подразделил нефтяные ресурсы по степени их подготовленности к эксплуатации на пять категорий: подготовленные (A_1), разведанные (A_2), видимые (B), предполагаемые (C_1) и возможные (C_2). Эта классификация не потеряла своей значимости и в настоящее время. Доклад И. М. Губкина был в большей мере экономическим, чем собственно геологическим, а потому данная им оценка потенциальных мировых ресурсов нефти и утверждение, что нет оснований для наступления нефтяного голода, что природ нефтяных запасов будет опережать потребность человечества в нефти, по состоянию нефтяной геологии на конец 30-х годов были справедливы. Однако прошедшее время несколько поколебало столь оптимистический

прогноз — нефть как энергетическое сырье с каждым годом становится все более и более дефицитной.

С очень интересным докладом «О значении радиогеологии для современной геологии» выступил на конгрессе акад. В. И. Вернадский. Его соображения были в полном смысле слова новаторскими. Он призвал геологов не только различать такие понятия, как «древность» геологических образований и «длительность» протекания геологических процессов, но и активно использовать эти различия в исследовательской работе. Он считал, что пора перейти от качественной оценки времени на чисто стратиграфическом принципе к его выражению в числе, в астрономических единицах, для чего и необходимы методы радиогеологии.

В. И. Вернадский поставил перед геологами три задачи: научиться определять продолжительность геологических процессов, установить длительность всех отрезков стратиграфической шкалы и оценить возраст наиболее древних пород Земли. Он справедливо полагал, что натуралист XX века «не может считаться с концом времени», что было вполне естественным еще во времена И. Ньютона. «Геолог должен [9, т. 1, с. 217] ... для плодотворного исследования прошлого планеты исходить из принципа актуализма в широком его понимании. Актуализм, в сущности, отвечает, как легко в этом убедиться, тождественности пространства — времени планеты во всем ее бытии» (разрядка автора — С. Р.). Это наиболее общая и, пожалуй, наиболее правильная интерпретация актуалистического мировоззрения геологов дает им методологическое основание для корректной оценки возможностей радиологических методов.

В. И. Вернадский предложил образовать комиссию при МГК, которая «... занялась бы вопросом об установлении единой методики геологического определения времени и осуществлением, обсуждением указанных проблем с получением отвечающих им точных численных величин» [9, т. 1]. Это предложение ученого было поддержано XVII сессией МГК, утвердившей Комиссию по определению геологического возраста радиологическими методами. Ее президентом стал А. Лэйн (США), а вице-президентом — В. И. Вернадский (СССР).

Большой интерес вызвал доклад П. И. Степанова «Некоторые закономерности стратиграфического и палеогеографического распределения геологических запасов ископаемых углей на земном шаре» [10, т. 1]. В нем впервые были основаны представления об узлах и поясах угленакпления, в результате обобщения громадного фактического материала по всем угленосным бассейнам мира выделены три площади с преобладанием: 1) каменноугольного угленакпления (восточная половина Северной Америки, Европа, северная часть Африки и западная часть Азии); 2) пермского и юрского угленакпления (восточная часть Азии, Австралия, юго-восточные секторы Африки и Южной Америки); 3) верхнемелового и третичного угленакпления (восточное побережье Азии и Австралии, архипелаги Океании, западные побережья Северной и Южной Америки). В пределах каждой из

этих обширных площадей П. И. Степанов наметил характерные узлы и пояса угленакпления. Сделанное П. И. Степановым обобщение полностью сохранило научный интерес и в наше время.

С докладом «Островные дуги, аномалии силы тяжести и интрузии серпентинита (к проблеме офиолитов)» [10, т. 2] выступил на конгрессе американский геолог, один из творцов теории литосферных плит Г. Г. Хесс. Он показал, что отрицательные и положительные аномалии силы тяжести пространственно тесно связаны с гирляндами островных дуг, а независимость этих аномалий от топографии ясно указывает, что вызваны они процессами, происходящими в глубоких частях земной коры. Позднее установят, что эта закономерность имеет глобальный характер, а отмеченные Г. Г. Хессом аномалии тяготеют к зонам Бенюфа, которые фиксируют процесс субдирования океанической литосферы.

На пленарных заседаниях конгресса были также прочитаны интересные доклады М. М. Пригоровского «Угленосные провинции и бассейны СССР», Дж. Тирреля (Великобритания) «Связь между магматической деятельностью и тектоникой», А. Д. Архангельского «Геологические результаты общих магнитометрических и гравиметрических работ в СССР», П. Фурмарье (Бельгия) «Общие соображения о развитии сланцеватости в складчатых толщах» и М. М. Тетяева «Геотектоника Советской Азии».

Во время конгресса работало 10 секций, соответствующих по тематике выдвинутым для обсуждения проблемам. Всего на них был сделан 151 доклад. С интересными сообщениями выступили В. П. Батурина, Ю. А. Жемчужников (СССР), Ш. Токунага (Япония), Х. Баклунд (Швеция), Н. Г. Судовиков, Д. В. Наливкин (СССР), Г. В. Бэйн (США), П. Эскола (Финляндия), В. П. Ренгартен, Н. С. Шатский, Д. С. Белякин, Д. С. Коржинский, И. Е. Старик (СССР), А. Лэйн (США) и другие ученые. Был проведен также симпозиум по палеоклиматам, на котором выступили 17 человек. Наиболее интересным был доклад А. Л. Дю-Тойта «Изменение климата Южной Африки в верхнем палеозое».

После окончания работы конгресса состоялись пять геологических экскурсий.

В нефтяной экскурсии участвовали 60 делегатов. М. И. Варенцов и помогавшие ему геологи провезли их по нефтяным месторождениям Поволжья и Предуралья, Азербайджана и Дагестана, Грузии и Закавказья.

В Сибирской экскурсии, которой руководил М. М. Тетяев, участвовало 48 человек. Участники конгресса ознакомились с геологией Урала, угленосными разрезами Кузнецкого бассейна, со сложным геологическим строением Алтае-Саянской складчатой области. Сибирь, бывшая до того «белым пятном» для многих зарубежных геологов, поразила их и разнообразием геологических структур и тем, насколько детально и всесторонне они изучены советскими геологами.

Уральская экскурсия, возглавленная А. Н. Заварицким, оказалась самой многочисленной — 77 человек. Она прошла практически по тому же маршруту, по которому во время VII

сессии МГК в 1897 г. провели иностранных гостей А. П. Карпинский и Ф. Н. Чернышев, — Москва — Благодать — Свердловск — Асбест — Миасс — Байкал — Челябинск — Орск — Магнитогорск — Москва. Экскурсия была руднопетрографической: продемонстрированы золото- и железорудные месторождения, связанные с разным типом структур и различными типами вмещающих пород. С. В. Обручев показал делегатам острова Новой Земли, а М. С. Швецов — характерные разрезы Подмосквовского угольного бассейна. По окончании конгресса были выпущены шесть томов «Трудов XVII сессии МГК» [9], куда вошли все доклады, зачитанные на пленарных и секционных заседаниях.

Подводя итоги этой сессии конгресса, можно с полным основанием присоединиться к словам Я. С. Эдельштейна: «XVII Международный геологический конгресс в нашей стране удался провести с большим успехом, и этот конгресс, вне всякого сомнения, составит важную дату в истории развития мировой геологической науки» [10, с. 95].

Главной целью международных форумов геологов и является — суммировать сделанное и намечать наиболее эффективные пути дальнейшего развития науки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ВСЕГЕИ* в развитии геологической науки и минерально-сырьевой базы страны, 1882—1982. Л., Недра, 1982.

В. А. ЖАРИКОВ, М. Я. ПОПОВА (Оргкомитет XXVII МГК)

Вузы и научно-исследовательские организации к XXVII Международному геологическому конгрессу

Во время работы XXVII сессии МГК намечается широкий показ делегатам конгресса учреждений геологического профиля. Комиссией по связи с научными учреждениями и вузами, возглавляемой чл.-кор. АН СССР В. А. Жариковым, совместно с научно-исследовательскими институтами и вузами составлен график посещений 15 организаций в Москве. На примере рассмотрения главных направлений деятельности научно-исследовательских институтов и вузов можно представить, какой обширный материал будет продемонстрирован гостям конгресса.

Геологический институт АН СССР многие годы возглавляет исследования в области тектоники, литологии и стратиграфии. Здесь зародилась и развивалась тектоническая школа, связанная с именами А. Д. Архангельского и Н. С. Шатского. Крупнейшими достижениями в области тектоники явились разработка общей теории геосинклинального процесса, создание учения о строении и развитии древних и молодых платформ, составление тектонических карт СССР, Европы, Евразии. В последние годы в тектонике сложилось новое научное направление, развивающее идеи мобилизма. Оно основано на геосинклинальной теории развития земной коры и ряде положений новой концепции тектоники плит.

2. Глинка К. Д. Отчет о командировке на VII Международный геологический конгресс. — В кн.: Записки Ново-Александровского ин-та сельского хозяйства и лесоводства. Т. XI. Варшава, 1898.
3. *Известия* Геологического комитета, 1898, т. 17.
4. Карпинский А. П. Собрание сочинений. Т. 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949.
5. Кирикилица С. И., Полканов Ю. А. Международная геологическая премия имени Л. А. Спендиарова. — Сов. геология, 1983, № 12, с. 118—120.
6. Никитин С. Н., Чернышев Ф. Н. Международный геологический конгресс и его последние сессии в Берлине и Лондоне. — Горный журнал, 1889, т. 1, с. 115—150.
7. Романовский С. И. Александр Петрович Карпинский (1847—1936). Л., Наука, 1981.
8. Романовский С. И. Роль Минералогического общества в организации государственной геологической службы страны. — Зап. ВМО, 1982, ч. 61, вып. 1, с. 3—12.
9. *Труды* XVII сессии МГК. СССР, 1937 г. М., ГОНТИ, т. 1, 1939; т. 2—6, 1939—1941.
10. *Циркуляры* XVII сессии МГК. СССР, 1937 г., № I—IV. М., 1935—1937.
11. Эдельштейн Я. С. XVII Международный геологический конгресс. — Мат-лы ВСЕГЕИ. Общая сер., 1940, сб. 4, с. 93—95.

Литоологи института добились значительного успеха в изучении осадочного и вулканогенно-осадочного седиментогенеза и литогенеза, а также минералообразования и геохимии осадочной оболочки. В итоге была создана теория осадочного процесса, происходящего на континентах и в океанах. Разработано новое направление — геоминералогия, сущность которой заключается в том, что проблемы генезиса минерального состава осадков и пород решаются на кристаллохимическом уровне изучения минералов и минеральных парагенезисов с учетом конкретных фациально-палеогеографических и общегеологических обстановок.

Сотрудники института внесли большой вклад в разработку теоретических принципов стратиграфических исследований, стратиграфии отложений Мирового океана, совершенствование стратиграфической шкалы, заложили основы современной биостратиграфии докембрия, микропалеонтологии фанерозоя, фито-стратиграфии палеозоя и мезозоя, детальной стратиграфии антропогена.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР — ведущий в стране по проблемам геологии и геохимии месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых, петрологии магматических, метаморфических и метасоматических пород, общей и генетической минералогии.

мых, петрологии магматических, метаморфических и метасоматических пород, общей и генетической минералогии.

Исследовательская работа развивается здесь под влиянием творческого наследия, оставленного академиками А. Е. Ферсманом, А. Н. Заварицким, Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом, А. Г. Бетехтиным, Д. С. Белянкиным, С. С. Смирновым, Д. И. Щербаковым и другими учеными.

К фундаментальным проблемам, разрабатываемым институтом, относятся: глубинное строение и условия формирования рудных полей и месторождений, условия образования кор выветривания и экзогенных месторождений, новые виды неметаллических полезных ископаемых, магматизм как индикатор геодинамического режима и эндогенного рудообразования, закономерности процессов метаморфизма и метасоматизма, учение о типоморфизме минералов как основы выявления минералогических индикаторов генезиса руд, сравнительное изучение горных пород Земли, Луны и других планет земной группы.

Высокий уровень теоретических исследований по основным научным направлениям во многом определяется наличием в институте мощной лабораторной базы, обеспечивающей практически полный цикл анализа природных минеральных веществ — от выделения мономинеральных фракций до тонких особенностей структуры и состава минералов.

Институт имеет широкие связи со многими зарубежными странами, что способствует дальнейшему укреплению контактов между учеными, взаимному обогащению знаниями в области наук о Земле, повышению эффективности научных исследований.

Институт физики Земли АН СССР ознакомит участников XXVII сессии МГК с некоторыми из основных направлений своей деятельности.

Отдел сравнительного изучения тектоносферы континентов и океанов покажет результаты работ по систематизации эндогенных режимов континентов, исследований условий формирования складчатости в различных геотектонических зонах, по комплексному использованию геолого-геофизических данных в целях сейсмического районирования, а также результаты работ на комплексных геофизических полигонах в различных районах Мирового океана.

Отдел сейсмологии ознакомит с картой сейсмического районирования СССР и принципами ее составления, результатами изучения крупных землетрясений последних лет (Дагестан, Ташкент, Газли, Кум-Даг), с данными наблюдений большого очага в ближней и дальней зонах, изучения афтершоков, остаточных деформаций грунтов, исследований параметров очагов землетрясений по экспериментальным данным, а также с методами экспериментального изучения сейсмических волн в реальных средах.

Отдел основ разведочной геофизики представит данные по вибрационному просвечиванию Земли в свете данных по просвечиванию и геофизическим измерениям, а также работы по сейсмическому эмиссии и голографии.

Институт геохимии и аналитической химии АН СССР ознакомит с достижениями в области геохимии, космохимии и аналитической химии, в частности с результатами прогнозирования локализации и масштабов оловянных и золоторудных месторождений на основании петрохимических и геохимических критериев. Будут демонстрироваться новые типы карт геохимических ореолов скрытого колчеданного оруденения на месторождениях Урала с элементами прогноза и результатами его проверки. Исследования по геохимическим предвестникам землетрясений будут иллюстрироваться на макетах и сконструированных в ГЕОХИ установках для автоматической регистрации содержания газовых компонентов и температуры термальных вод.

Участники конгресса узнают об итогах многолетних исследований по петрологии и геохимии пород океанской коры, офиолитовых поясов и вулканизма рифтовых зон, применении полученных выводов для регионального петролого-геохимического и тектонического районирования океанов, анализа закономерностей размещения полезных ископаемых в офиолитовых зонах. Будет показана установка для изучения расплавных и флюидных включений. В лаборатории геохимии щелочных пород гости смогут ознакомиться с современными представлениями о происхождении и эволюции щелочных магм и связанных с ними рудных месторождений, рядом выявленных геохимических критериев поисков месторождений фосфора, алюминия и редких элементов.

При посещении лаборатории магматических процессов будет продемонстрирован комплекс уникальных установок, в частности установки для исследования фазовых превращений при давлениях до 4 тыс. МПа, для изучения влияния летучих на физико-химические свойства магматических расплавов и др., а из теоретических разработок — результаты исследований по физико-химической динамике магматических процессов и термодинамическая модель состава переходной зоны мантии и внешнего ядра Земли.

В лаборатории геохимии изотопов и геохронологии посетители увидят масс-спектрометры, предназначенные для самарий-неодимовой изотопной геохронологии, лазерные и ионные масс-спектрометры, специальные беспылевые лаборатории для подготовки проб к изотопным анализам. Будут показаны результаты экспериментальных и теоретических исследований, охватывающих геохимический цикл углерода, в частности возможности применения новых методов поисков нефти и исследования происхождения алмазов, в том числе изотопно-молекулярного критерия выявления нефтепроизводящих отложений в осадочных породах.

В области космохимии и сравнительной планетологии будут показаны бортовая аппаратура, применяемая для изучения Венеры, Марса и Луны, в том числе флюоресцентный спектрометр, с помощью которого на СА «Венера-13» и «Венера-14» впервые был определен химический состав грунта этой планеты, приемно-исследовательский комплекс для работы с внеземным веществом, а также составленные в институте топографические, геолого-геоморфологические и тектонические карты Луны, Венеры и Марса.

Обзор исследований, выполняемых в 10 лабораториях аналитического отдела, будет проведен в форме экскурсии по выставке достижений института.

Институт океанологии АН СССР ведет научный поиск во всех ключевых областях океанологии; многие научные разработки выполнены на стыке с другими науками о Земле.

Одной из научных и практических задач, решаемых учеными института в области физики океана, являются теоретические и экспериментальные исследования вод Мирового океана разного масштаба и характера с одновременной разработкой термодинамической модели океана, окраинных и внутренних морей. Институт работает над проблемой развития и усовершенствования модели крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы. С помощью новых методов и средств измерений, а также обработки экспериментальных данных ведется изучение различных полей. Разрабатывается теория генерации ветровых волн, методов прогноза различных океанических процессов. Моделирование изменений климата должно привести к усовершенствованию методов прогноза погоды.

Научные интересы геологов, геофизиков и геохимиков института сосредоточены на изучении основных закономерностей строения и формирования слоев земной коры в океанах и морях, строении и истории развития океанических окраин, на структуре и составе литосферы и астеносферы под океанами. Разрабатываются научные предпосылки поисков и использования минеральных ресурсов Мирового океана, создается комплексная геолого-геофизическая модель земной коры окраинных морей и северо-западной части Тихого океана, ведется сравнительное изучение зон сочленения континентов и океанов, выявляются основные морфологические и литологические процессы, а также процессы образования россыпей в прибрежно-шельфовой зоне морей и океанов, разрабатываются методические основы выявления условий, приводящих к нефтеобразованию и нефтегазонакоплению в акваториях, ведется сбор новых данных о стратиграфических, петрографических, геохимических, структурных и геофизических особенностях строения океанической коры.

Исследования морских биологов отличаются широким диапазоном. Разрабатывается теория глобального распределения жизни в Мировом океане, т. е. биологической структуры океана. Конечным результатом этих исследований должна стать теория, которая позволит организовать высокоэффективные хозяйства марикультуры. Цель изучения биологической продуктивности океана — накопление научных данных, с помощью которых можно разработать рекомендации для наиболее рациональной эксплуатации морских биологических ресурсов, а также получение исходных материалов для планирования морского хозяйства. Биологи изучают и потенциальные промысловые виды. Особое внимание уделяется проблеме комплексной автоматизации океанологических исследований. Создаются новые технические средства и методы, призванные решать как названные выше задачи, так и задачи, связанные с проникновением человека в оке-

анские глубины. Разрабатываются способы и методы исследования Мирового океана с помощью искусственных спутников Земли.

Институт литосферы АН СССР занимается изучением взаимоотношений между оболочками Земли (литосферой, гидросферой, атмосферой, биосферой) и эволюции этих взаимоотношений на протяжении геологической истории. Здесь проводятся следующие научные исследования: разработка теории осадочного, вулканогенно-осадочного и метаморфического породо- и рудообразования с целью создания научных основ прогнозирования месторождений полезных ископаемых; изучение эволюции экзогенного породо- и рудообразования в докембрии с реконструкцией древнейших бассейнов осадочного и вулканогенно-осадочного породообразования и истории их последующего палингенно-метаморфического преобразования, с разработкой диагностических критериев выявления метаморфизованных кор выветривания раннего докембрия; разработка методов морфоструктурного анализа применительно к процессам и явлениям, происходящим внутри литосферных плит; комплексное изучение геологии, геофизики и геохимии дна океанов путем сравнительного анализа офиолитов докембрия и современной океанической коры; выяснение состава осадочного слоя океанов; совершенствование научно-технических основ и комплекса мероприятий по улучшению использования и охраны природных условий в изучаемых регионах. Научная работа ведется с перспективой оптимальной реализации достигнутых результатов в области народного хозяйства.

Всесоюзный научно-исследовательский институт ядерной геофизики и геохимии является головным в области разработки новых ядернофизических, геоакустических и геохимических методов поисков и разведки месторождений нефти, газа, золота, алмазов, черных металлов. Институт входит в состав НПО «Нефтегеофизика» Министерства геологии СССР.

Основные научные направления его деятельности — разработка и совершенствование: научных основ комплексирования ядернофизических, сейсмоакустических, геохимических и дистанционных геофизических исследований на различных стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ; теории и методики нефтегазопойсковой геохимии и внедрения результатов в практику геологоразведочных работ в комплексе с геофизическими исследованиями; научных основ комплексирования геофизических и геохимических методов исследования глубинных зон земной коры по результатам бурения сверхглубоких скважин; новых методов изучения вещественного состава, структуры и свойств горных пород на основе ядернофизических исследований в скважинах и лабораторных условиях; принципиально новых видов ядернофизической, геоакустической и геохимической аппаратуры. В институте созданы научные школы в области ядерной геофизики, которые получили широкое признание в Советском Союзе и за рубежом.

Всесоюзный научно-исследовательский институт геофизических методов разведки является головной организацией научно-производственного объединения «Нефтегеофизика» и

выполняет ряд наиболее важных разработок геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых.

Главные направления деятельности института: развитие теории и создание новых геофизических методов с целью повышения детальности и точности разведки месторождений нефти и газа и других полезных ископаемых; разработка аппаратурно-методических комплексов, обеспечивающих повышение геологической эффективности поисков нефтегазовых месторождений; разработка и оптимизация структуры геофизических вычислительных комплексов регионального и экспедиционного уровней и создание их математического и программного обеспечения; обобщение результатов геолого-геофизических исследований и разработка стратегии геофизических исследований на нефть и газ; широкое внедрение разработок института в производственных организациях страны, оказание помощи заводам — изготовителям геофизической аппаратуры и оборудования.

В институте создаются новые технические средства, которыми перевооружается геологическая служба страны: первые отечественные цифровые сейсморазведочные и электро-разведочные станции; невзрывные (импульсные и вибрационные) источники сейсмических колебаний для работ на суше и на акваториях; практически все основные типы гравиметров, в том числе и для измерений силы тяжести в движении; цифровые станции для геофизических исследований в скважинах, включая морские; геофизические вычислительные комплексы экспедиционного уровня на базе отечественных ЭВМ типа М-7000, СМ-2, СМ-4; уникальные скважинные приборы, кабели, механизмы для геофизических исследований в сверхглубоких скважинах: комплексы аппаратуры и оборудования для новых видов геофизических исследований в скважинах; первые отечественные системы обработки данных сейсморазведки на ЭВМ; системы программ для обработки на ЭВМ данных электроразведки, магниторазведки, скважинных исследований; системы программ для комплексной интерпретации геолого-геофизических данных с целью прямых поисков нефтегазовых месторождений и определения параметров продуктивных пластов.

Разработаны методики использования поперечных волн для поисков и разведки малоамплитудных пологих поднятий, продольных, поперечных и обменных волн, возбужденных землетрясениями и взрывами, для региональных исследований, а также методика прямых поисков месторождений полезных ископаемых комплексом геофизических методов.

Геологический факультет Московского государственного университета подготовил для участников XXVII сессии МГК ряд выставок, которые отразят учебную и научную работу факультета, расскажут о его спортивной и культурной жизни. Организована выставка геологических карт, учебных пособий, монографий, сборников трудов преподавателей и научных сотрудников факультета. Будут показаны лаборатории рудной микроскопии, шлихового анализа, руднофизической и термобарогеохимической рентгеноспектральной анализа, термохимии минералов и оптической

спектроскопии. На кафедре кристаллографии подготовлены для демонстрации практикум по росту кристаллов, кабинет инфракрасной спектроскопии и лаборатория рентгеноструктурного анализа и кристаллохимии, а также модели структур кристаллов, расшифрованных на кафедре.

Важнейшие темы, над которыми работают ученые, студенты и аспиранты геологического факультета: эволюция основных структурных элементов земной коры; условия и механизм образования складчатости разных типов; история развития новейших тектонических движений континентов и океанов в связи с общим и детальным сейсмическим районированием; разработка системы метаморфических минеральных фаций; комплексное исследование условий зарождения и дифференциации вулканических пород Мирового океана; исследование геохимической модели дифференциации земной коры в магматических процессах; геохимия изотопов и охрана окружающей среды в связи с техногенным загрязнением; вопросы осадочно-миграционной теории происхождения нефти и газа на основе геохимического изучения органического вещества нефтей горных пород; инженерно-геологическая типизация месторождений полезных ископаемых как основа прогнозной оценки изменений геологической среды под воздействием горнодобывающих предприятий; физико-химические процессы в мерзлых породах и их роль в формировании состава и криогенного строения мерзлых пород; региональные геолого-геофизические исследования земной коры литосферы и верхней мантии переходных зон от материков к океанам; разработка типизации пород в связи с их биологической рекультивацией при освоении месторождений полезных ископаемых; разработка теории глубинной геоэлектрики и построение геоэлектрических моделей основных тектонических провинций СССР.

Горный музей был основан в Петербурге в 1773 г. одновременно с Горным институтом (тогда Горным училищем) и находится в том же здании. Музей сыграл важную роль в развитии горного образования в России. Многие экспонаты, являющиеся и сейчас гордостью музея, поступали со всех рудников, копий и горнозаводских предприятий того времени благодаря распоряжениям, обязывавшим доставлять Минеральному кабинету наиболее интересные образцы минералов, руд, а также изделий работы; сотрудники его были организаторами филиалов на местах, содействуя распространению геологической культуры.

Подлинный расцвет музея начался после Великой Октябрьской социалистической революции, когда были реорганизованы существовавшие отделы и созданы новые. В 1932 г. открылась экспозиция по космогении, иллюстрирующая происхождение Земли, значительно расширился отдел геологии, в 1936 г. открылся отдел петрографии, в конце 30-х годов — полезных ископаемых.

Сейчас в Горном музее собраны богатейшие экспонаты, отражающие все многообразие состава земной коры. В его фондах имеются десятки тысяч минералов более чем из 60 стран мира, со всех шести континентов:

многие десятки тысяч палеонтологических находок из разрезов Европы, Азии, Америки; единственные в СССР модели и макеты, иллюстрирующие историю горной и горнозаводской техники. Многие из экспонатов являются уникальными. Среди них самородок меди из Казахстана (842 кг), кристалл берилла длиной 1,5 м; полупрозрачный кристалл флюорита голубого цвета; кристалл кварца с Украины (800 кг); железный метеорит из Сихотэ-Алиня (450 кг); многочисленные ювелирные изделия из цветного камня; скелеты древних животных и др. Экспозиция музея отображает новейшие достижения в области геологии, петрографии, полезных ископаемых, минералогии, истории горной и горнозаводской техники и др.

Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана — одно из старейших учреждений Академии наук СССР. В 1716 г. по приказу Петра I была приобретена коллекция минералов (1195 образцов), которая положила начало Минеральному кабинету Петербургской кунсткамеры. Последняя в 1725 г. перешла в созданную Академию наук, а Минеральный кабинет сделался центром минералогической работы и постепенно вырос в крупное научное учреждение — Минералогический музей. В 1934 г. коллекции музея перевезли из Ленинграда в Москву.

В настоящее время в музее хранится 120 тыс. образцов минералов. В научной тематике музея ведущее место занимают вопросы, связанные с изучением общих теоретических аспектов минералогии, а также минералогии месторождений полезных ископаемых.

Важнейшей задачей музея является популяризация научных знаний и достижений советской геологической науки. С этой целью в музее организуются выставки: «Метеориты» (демонстрируются многочисленные образцы метеоритов различных классов и почти всех известных типов), «Минералы, открытые в СССР» (с XVII в. до настоящего времени), «Минералы Подмосковья», «Драгоценные и поделочные камни», специальный стенд, посвященный истории создания музея.

Музей Палеонтологического института АН СССР открывается вводным разделом, посвященным истории науки, предмету и общим вопросам палеонтологии. Здесь же находится своеобразная историческая реликвия — «мамонт Трофимова» — второй полный скелет, найденный на Земле. Интересен раздел экспозиции, посвященный органическому миру криптозооя, венда, кембрия, ордовика и силура. Представлены замечательные отпечатки мягкотелых метазоя и вендотении, уникальная биота венда, образцы (археопияты, хиолиты, моллюски, трилобиты) из нижнего кембрия Сибирской платформы.

Экспозиция знакомит с основными группами беспозвоночных животных — от простей-

ших до иглокожих. Выставлены интереснейшие образцы палеозойских аммоноидей, наутилоидей и родственных им групп; исследование их получило мировое признание. С уникальными экспонатами можно познакомиться в витринах с трахейнодышащими и иглокожими.

Следующий раздел знакомит с важнейшими группами растений: разнообразными водорослями, высшими споровыми голосеменными, цветковыми. Большая экспозиция посвящена вопросам систематики и филогении, а также палеофлористике и расселению разных групп наземных растений, что представляет особый интерес в связи с проблемами мобилизма и реконструкции положения континентов в прошлые геологические эпохи.

В музее демонстрируются достижения института в области палеонтологии докембрия, разработки проблемы границы докембрия — кембрия, палеоэкологии девона и карбона, изучения аммоноидей девона — перми Южного Урала, палеогеновой флоры Ферганы, микро- и ультраструктурных исследований, флорогенеза и истории континентов, исторической зоогеографии наземных тетрапод, освещены результаты работ Советско-Монгольской экспедиции.

Большой раздел посвящен позвоночным и беспозвоночным организмам мезозойской эры. Центральное место отводится пресмыкающимся — динозаврам, найденным в пустыне Гоби (МНР) и в Средней Азии. Привлекают внимание скелеты растительноядных диплодоков и утконосого зауролофа, хищного ящера тарбозавра, разнообразные типы динозавров и их окаменевшие следы, а также остатки ящеров, черепах, некоторых беспозвоночных и растений. Ряд стендов рассказывает о фаунистических комплексах раннего мела Сибири и МНР.

Летающие ящеры мезозоя представлены небольшим количеством образцов уникальной сохранности. Ряд витрин отведен ближайшим из ныне живущих родственников динозавров — крокодилам, а также животному миру озера, существовавшего на территории Южного Казахстана около 150 млн. лет назад. В морском разделе можно увидеть скелеты и черепа ихтиозавров и плиозавров, беспозвоночных обитателей мезозойского моря.

В общем во время работы Международного геологического конгресса участники его посетят около 60 научно-исследовательских институтов, вузов, геологических управлений и экспедиций АН СССР, Мингео СССР, Минвуза СССР, РСФСР и союзных республик. При этом они ознакомятся с научными и техническими достижениями в области поисков, разведки и разработки полезных ископаемых, а также с учебным процессом подготовки специалистов-геологов.

Contents

XXVII SESSION OF THE INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS	
Kozlovskiy E. A., Yanshin A. L. Geology of the Soviet Union: achievements and prospects	3
REGIONAL GEOLOGY AND TECTONICS	
Mezhelovskiy N. V., Natapov L. M., Musatov D. I., Eremin V. K. Regional geological studies of the USSR territory should be carried out on a new tectonic basis	11
Krasny L. I. Global division of lithosphere in the light of a global concept	17
Gramberg I. S., Kosko M. K., Lazurkin V. M., Pogrebitskiy Yu. E. Main stages of evolution of the Arctic continental margin of the USSR in the Neogene	32
Surkov V. S., Korobeynikov V. P., Zherov O. G., Grishin M. P., Shcheglov A. P., Staroseltsev V. S., Smirnov L. V., Mikhlenko K. I. Evolution and depth structure of the earth's crust in Siberia	41
ENERGY RESOURCES	
Khain V. E., Sokolov B. A. Margins of the continents: main oil-bearing zones of the Earth	49
Nalivkin V. D., Goldberg I. S., Kruglikov N. M., Lazarev V. S., Sakhibgarayev R. S., Sverchkov G. P., Simakov S. N. Processes of failure of oil and gas pools and hydrocarbon loss appraisal	60
ECONOMICS AND MANAGEMENT	
Ginzburg A. I., Eremin A. N., Ostrovnikov G. V.	
Intensification of mineral resources development	70
GEOPHYSICS	
Karus E. V., Kuznetsov O. L. Impulse neutron and broad band geoaoustics in studying deep boreholes	78
METALS AND NON-METALS	
Levitskiy V. V., Demin B. G., Khrenov P. M., Baburkin L. M., Razvozzhaeva E. A. Periodicity of mineral and organometallic compounds in ore formation and oil accumulation processes	87
Sidorov A. A. Groups of gold-bearing formations	96
STRATIGRAPHY AND PALEOGEOGRAPHY	
Krats K. O., Negrutsa V. Z., Sokolov V. A., Bogdanov Yu. B., Baskelberg V. G., Zagorodny V. G., Negrutsa T. F., Semikhatov M. A., Shchurkin K. A. New data in the studies of Precambrian stratigraphy of the Soviet part of the Baltic Shield	105
NEWS IN BRIEF	
Romanovskiy S. I. Petersburg (1897) and Moscow (1937) sessions of the International Geological Congress	119
Zharikov V. A., Popova M. Ya. Educational institutes and research institutions contribute to the XXVII International Geological Congress	121

Международные выставки «Геоэкспо—84» и «Геокарта—84», приуроченные к XXVII Международному геологическому конгрессу

С 3 по 12 августа 1984 г. в Москве на территории выставочного комплекса «Красная Пресня» Министерство геологии СССР, Академия наук СССР и Торгово-промышленная палата СССР проводят Международные выставки геологического, геофизического оборудования и приборов — «Геоэкспо—84» (советский и иностранный разделы); карт и книг геологического содержания — «Геокарта—84» (советский и иностранный разделы).

Советские и иностранные специалисты прочтут лекции по тематике выставок, будут демонстрироваться научно-технические фильмы.

Выставки позволят широкому кругу специалистов ознакомиться с последними достижениями мировой геологической науки и практики.

За справками обращаться в объединение «Зарубежгеология» г. Москва, 121002, Калосин пер., 10. Телефоны: 241-41-60, 241-19-55

Цена 1р.60к.

Индекс 70824

СОВЕТСКАЯ ГЕОЛОГИЯ, 1984, №7, 1-128