

ГЕОЛОГИЯ и НЕФТЬ





Министерство образования и науки Российской Федерации ГОУ ВПО

"Уральский государственный горный университет"

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЬ:

визитная карточка кафедры литологии и геологии горючих ископаемых

Учебное пособие

Под редакцией профессора В. П. Алексеева

Екатеринбург - 2011

УДК 55 + 553.9

Γ36

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЬ: визитная карточка кафедры литологии и геологии горючих ископаемых / В. П. Алексеев, Э. О. Амон, Е. С. Ворожев и др.; под ред. В. П. Алексеева. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. горного ун-та, 2011. 272 с. ISBN 978-5-8019-0266-1

Пособие представляет собой оригинальный курс лекций, прочитанный для студентов негеологической специальности. Он охватывает значительный спектр геологических дисциплин, связанных с изучением осадочной оболочки Земли и сосредоточенных в ней залежей горючих ископаемых. Поскольку все авторы работают на одной кафедре, то представленные материалы можно оценивать как ее своеобразную «визитную карточку».

Для студентов широкого спектра специальностей, желающих получить общие представления о геологии осадочных толщ и содержащихся в них горючих ископаемых.

Табл. 13 Илл. 97 Библ. 42 назв. 15 прилож.

Авторский коллектив: В. П. Алексеев, Э. О. Амон, Е. С. Ворожев,

А. В. Маслов, Г. А. Мизенс, А. В. Первушин,

В. И. Русский, С. А. Рыльков, Л. И. Третьякова,

В. В. Черных, Б. И. Чувашов, Г. Ю. Шардакова

Редактор-составитель В. П. Алексеев

Рецензенты: зав. каф. исторической и динамической геологии

С.-Петербургского гос. горного института (техн. ун-та),

проф., д-р геол.-минерал. наук С. Б. Шишлов;

Центр подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Института природных ресурсов

Томского политехнического ун-та

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета

© Уральский гос. горный университет, 2011

© Авторы, 2011

ISBN 978-5-8019-0266-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ред	дактора-составителя	4
	ЛОГИЯ (Г. А. Мизенс)	
	ЛЕОНТОЛОГИИ, ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЯ	
	x)	24
	КАЯ ГЕОЛОГИЯ (Э. О. Амон)	
	I (В. П. Алексеев)	
5. ГЕОДИНАМІ	ИКА (Г. Ю. Шардакова)	78
6. РЕГИОНАЛЬ	НАЯ ГЕОЛОГИЯ (ГЕОЛОГИЯ РОССИИ)	
	OB)	95
	ННЫЙ АНАЛИЗ (В. П. Алексеев)	
	ПОРОДНЫЕ БАССЕЙНЫ (А. В. Маслов)	
	И ГЕОХИМИЯ НЕФТИ И ГАЗА (В. И. Русский)	
	ОНОСНЫЕ ПРОВИНЦИИ РОССИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ	
	. Русский)	169
11. ТЕОРЕТИЧЕ	ЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ	
НЕФТИ И ГА	АЗА (Е. С. Ворожев)	185
	АПАСОВ И ОЦЕНКА РЕСУРСОВ НЕФТИ И ГАЗА	
	ов)	199
13. НЕФТЕГАЗО	ОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ (А. В. Первушин)	211
14. НЕФТЕГАЗО	ОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОФИЗИКА (Л. И. Третьякова)	226
Заключение		240
Приложение 1.	Важнейшие рубежи в истории Земли	241
Приложение 2.	Нарушенное залегание слоев горных пород	242
Приложение 3.	Развитие органического мира в фанерозое	244
Приложение 4.	Общая стратиграфическая шкала ОСШ-2006, действующ	ая
	в России	245
Приложение 5.	Литосферные плиты Земли	250
Приложение 6.	Цикл Уилсона и его побочные ответвления	251
Приложение 7.	Тектоническая карта и полезные ископаемые России	
	и ближнего зарубежья	
Приложение 8.	Геологическая карта России и ближнего зарубежья	254-255
Приложение 9.	Шкала преобразования осадочных отложений для	
	нефтегазоносных толщ	256
Приложение 10.	Сейсмостратиграфический разрез осадочного чехла	
	Западной Сибири	257
Приложение 11.	Схема размещения наиболее богатых нефтегазоносных	
	бассейнов регионов мира	258-259
Приложение 12.	Нефтегазогеологическое районирование России	
	и ближнего зарубежья	260-261
Приложение 13.	Формационно-стратиграфический разрез	
	Ханты-Мансийского и Томского Приобья	262-263
Приложение 14.	. Схема стадийности геологоразведочных работ на нефть	
	и газ	264-265
Приложение 15.	Корреляция методов ГИС по профилю скважин	
	Ямбургского месторождения	
	opax	
Редакторская гр	уппа	272

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА-СОСТАВИТЕЛЯ

Создание и выход в свет предлагаемой книги, имеющей статус учебного пособия, не вполне обычны и требуют пояснений. Это было продиктовано несколькими соображениями-причинами.

Первая из них — это собственно история создания и деятельности кафедры литологии и геологии горючих ископаемых (ЛГГИ) Уральского государственного горного университета (УГГУ). Приказ об организации кафедры со штатом две единицы профессорско-преподавательского состава (ППС) в ранге и статусе выпускающей издан в феврале 2002 г. 2002/03 учебный год был начат при численности ППС 5 единиц. Максимума штат ППС достиг в 2008/09 учебном году (8,25), что было обусловлено организацией в 2004 г. первого набора на специальность «Геология нефти и газа». В дальнейшем штатная численность снизилась, составив в 2010/11 учебном году 7,0 единиц. Одна из причин уменьшения штатных единиц на кафедре сформулирована в приказе по УГГУ, изданном в августе 2009 г. (при общей формулировке «Об оптимизации учебного процесса») и предоставляющем возможность отделу планирования учебного процесса «... объединять учебные потоки студентов различных специальностей при чтении дисциплин похожих названий».

Вторая причина, отчасти вытекающая из первой, – подбор ППС для организации и реализации учебного процесса по выпускаемой специальности, весьма нехарактерной для «рудно»-геологического вектора обучения в СГИ (Свердловский горный институт – предшественник УГГУ). После ликвидации недолго существовавшего нефтяного факультета (1951-1957 гг.), последующие 30 лет в СГИ осуществлялась подготовка геологовразведчиков на твердые горючие полезные ископаемые («угольщиков»). В середине 90-х гг. и она была по сути прекращена. Поэтому возобновление подготовки специалистов-нефтяников со специализацией в области нефтегазовой литологии, при абсолютной непрестижности и малооплачиваемости преподавательского труда, предопределило путь комплектования ППС, ставший обычным в ряде вузов в последние годы. Он заключался в привлечении к чтению лекций и проведению других видов учебной работы высококвалифицированных специалистов из академической науки и производства. Данный путь широко практикуется в МГУ, ведущих вузах нефтегазового профиля (РГУНГ им. И. М. Губкина, ТюмГНГУ), что способствует установлению тесной связи между наукой, производством и образованием. В нашем случае он получил реализацию в организации кафедры ЛГГИ как базовой для Института геологии и геохимии Уральского отделения Российской академии наук (УрО РАН) – приказ от 24 января 2004 г.

Итак, всего на кафедре ЛГГИ в 2009/10 и 2010/11 учебных годах занято 14 совместителей, среди которых два члена-корреспондента РАН, три доктора и шесть кандидатов геолого-минералогических наук. Большинство из них входят в авторский коллектив предложенного пособия.

Третья причина заключается в том, что кафедрой ЛГГИ в существенной степени стал обеспечиваться учебный процесс не только в области специальных, но и общепрофессиональных геологических дисциплин. При этом помимо подготовки собственно геологов-«нефтяников» на кафедру возложена работа со студентами, обучающимися по направлению 130302 – «Технологии геологической разведки», специальность 130201 – «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»; специализация «Сейсморазведка» и специальность 130202 – «Геофизические методы исследования скважин». «Сквозное» преподавание обширного цикла геологических дисциплин одной кафедрой, при высокой квалификации ППС, несомненно, имеет организационные преимущества, которые трудно переоценить.

Наконец, *четвертая* причина вызвана к жизни введением в учебный план подготовки специалистов по направлению 230200 — «Информационные системы», специальность 230201 — «Информационные системы и технологии» (ГИН) курса «Геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов». Будучи включенным в учебный план по инициативе заведующего кафедрой геоинформатики проф., д-ра геол.-минерал. наук В. Б. Писецкого, данный курс в рамках блока дисциплин специализации был призван заполнить лакуну в подготовке специалистов, во многом нацеливаемых на геоинформационное обеспечение работ именно в нефтегазовой отрасли. В учебном плане, утвержденном Ученым советом УГГУ в 2007 г., изучению этой дисциплины отведено 52 часа лекционных занятий, т. е. 26 лекций в 8-м семестре. Преподаватели кафедры ЛГГИ, последовательно сменяя друг друга, обеспечивают данный лекционный курс.

Необходимость, возможность и целесообразность такого подхода к реализации учебного процесса были апробированы в 2009/10 учебном году и в целом получили положительный отклик как со стороны преподавателей, так и студентов, что обусловило необходимость подготовки и издания особого учебного пособия, составленного по материалам лекций названного выше курса. Суммирование перечисленных выше причин и привело зав. каф. ЛГГИ и отв. редактора предложенного пособия к идее его создания. Особо укажем, что одновременно с обеспечением учебного процесса как такового пособие имеет вид визитной карточки в самом полном смысле этого понятия — носителя контактной информации о предъявителе. В данном случае предъявителем является коллектив кафедры ЛГГИ УГГУ, а носитель информации имеет вид учебного пособия, рассматривающего ши-

рокий спектр вопросов, касающихся изучения осадочной оболочки Земли и заключенных в них нефтегазовых скоплений.

Изначально не имея возможности полного изложения той или иной дисциплины в рамках отводимого объема (15 – 18 страниц), авторы кратко освещали отдельные, наиболее важные проблемы – своего рода «узловые точки». Достаточная равномерность представленных материалов проявлена и в перечнях рекомендуемой литературы. К каждой главе приложен список из трех источников, которые представлены в основном учебниками и учебными пособия, изданными уже в XXI веке. Многие из них принадлежат непосредственно авторам данного учебного пособия. Их изучение позволит интересующимся читателям более полно ознакомиться с теми или иными вопросами, довольно бегло (хотя и строго последовательно) рассматриваемыми в представленном пособии.

В заключительной части пособия представлен справочный материал, состоящий из двух разделов, имеющих самостоятельный характер. Вопервых, это пакет приложений, в который «внесены» некоторые материалы достаточно общего характера и используемые в разных разделах. Наиболее яркий пример — это общая стратиграфическая шкала. Во-вторых, это краткие сведения об авторах разделов — сотрудниках кафедры ЛГГИ, равно как и о редакторской группе пособия. По сути эти сведения являются также визитными карточками, но уже личного характера.

Профессор, доктор геологоминералогических наук, заведующий кафедрой ЛГГИ Алексеев В. П.

1. ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Курс «Общая геология» призван продемонстрировать современные представления о Земле, ее строении, развитии и о процессах, которые протекают в недрах и на поверхности Земли. При этом необходимо помнить, что Земля является единой природной системой, основные элементы которой взаимосвязаны и взаимодействуют. Нет ни одного значимого элемента в этой системе, который можно было бы понять вне связи с другими процессами.

Методология

Каждая из наук геологического цикла рассматривает свой предмет в исторической перспективе: зарождение — жизнь — смерть. Основу этой методологии составляет принцип актуализма: «настоящее есть ключ к познанию прошлого» (сформулированный знаменитым английским геологом XIX века Ч. Ляйелем). Только пользуясь принципом актуализма, геологи смогли создать стройные теории эндогенных и экзогенных процессов. Необходимо, однако, помнить, что этот принцип имеет определенные ограничения. Чем дальше от нашего времени отстоит та или иная геологическая эпоха, тем больше условия могли отличаться от современных. Данный тезис реализуется в рамках более широкого сравнительно-исторического метода, предложенного Н. М. Страховым.

Земля

Земля представляет собой одну из планет Солнечной системы, которая, по современным представлениям, образовалась 4,6 млрд лет назад в едином процессе вместе с другими планетами и Солнцем из холодного межзвездного газо-пылевого облака (прил. 1).

Гравитационное сжатие и непрерывное падение на поверхности Земли крупных твердых тел привели к ее разогреву и плавлению вещества. В дальнейшем происходило перераспределение и расслоение этого вещества в соответствии с плотностью.

Относительно легкие компоненты, богатые кремнием, отделились от тяжелых, содержащих железо и никель, и образовали верхнюю оболочку (будущую земную кору). Среди плотного вещества постепенно обособились ядро и мантия ($puc.\ 1.1$).

Спустя примерно 1 млрд лет верхняя оболочка затвердела. В ходе остывания выделялось множество различных газов. Легкие газы, такие как

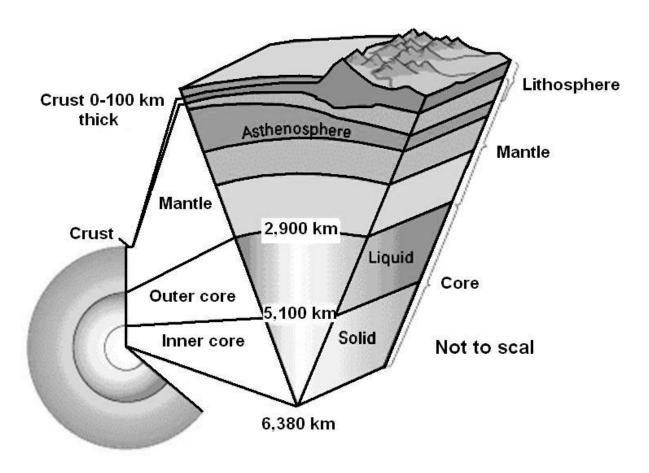


Рис. 1.1. Внутреннее строение Земли

водород и гелий, большей частью улетучивались в космическое пространство, но более тяжелые остались и составили основу земной атмосферы. Часть водяных паров сконденсировалась, и на Земле возникли океаны.

Земная кора и литосфера

Нижняя граница земной коры (раздел Мохоровичича) отчетливо прослеживается по резкому увеличению скорости сейсмических волн. Непосредственно ниже этой границы располагается высокоскоростной твердый слой верхней мантии, который вместе с земной корой составляет лимосферу (см. рис. 1.1). Еще ниже прослеживается слой с относительно низкими скоростями распространения сейсмических волн. Этот слой, носящий название астеносфера, более пластичный по отношению к выше- и нижерасположенным слоям.

Земная кора в пределах континентов и океанов имеет различное строение.

Континентальная кора (мощность от 35-40 до 55-75 км).

Традиционная модель. Верхний слой представлен осадочными породами, мощностью от 0 до 5 (10) км в пределах платформ, до 15-20 км в

горных областях. У второго — «гранитного» или «гранит-гнейсового» слоя средняя мощность 15-20 км. Этот слой сложен гранитами, гнейсами и другими метаморфическими породами. Третий слой называют «базальтовым» или «гранулит-базитовым». Предполагается, что он сложен основными интрузивными породами типа габбро, а также метаморфическими породами амфиболитовой и гранулитовой фаций метаморфизма. Мощность от 15-20 до 35 км. Граница между гранит-гнейсовым и гранулито-базитовым слоями получила название сейсмического раздела Конрада.

Четырехслойная модель. 1. Осадочный слой. 2. Верхний этаж кристаллического фундамента с вертикально-слоистой структурой и дифференцированностью отдельных блоков по составу и физическим параметрам. 3. Промежуточный этаж кристаллического фундамента с тонкой горизонтальной расслоенностью и наличием отдельных пластин с пониженной скоростью продольных волн и аномальной плотностью. Здесь возможны горизонтальные подвижки вещества. 4. Нижний этаж кристаллического фундамента с однородной структурой.

Океанская кора имеет трехслойное строение при мощности от 5 до 9 (12) км. Верхний (первый) слой — осадочный, состоит преимущественно из рыхлых осадков. Мощность от нескольких сот метров до 1 км. Второй слой сложен преимущественно базальтами с прослоями карбонатных и кремнистых пород. Мощность от 1,0-1,5 до 2,5-3,0 км. Третий высокоскоростной слой. По данным драгирования сложен основными магматическими породами типа габбро с подчиненными ультраосновными породами. Мощность от 3,5 до 5,0 км.

Наряду с континентальным и океанским типом земной коры выделяют и промежуточные разности. По мнению В. Е. Хаина, их лучше рассматривать в генетическом плане, называя субконтинентальную кору переходной (в смысле развития) от океанской к континентальной, а субоке-анскую — от континентальной к океанской.

Основные структурные элементы континентов

Древние платформы — устойчивые блоки земной коры, сформировавшиеся в позднем архее или раннем протерозое. Отличительная черта — двухэтажность строения ($puc.\ 1.2$).

- Нижний этаж (фундамент) сложен складчатыми, метаморфизованными толщами пород, прорванными гранитными интрузивами.
- *Верхний этаж чехол* неметаморфизованных отложений морских, континентальных и вулканогенных, залегающих с резким угловым несогласием на фундаменте.

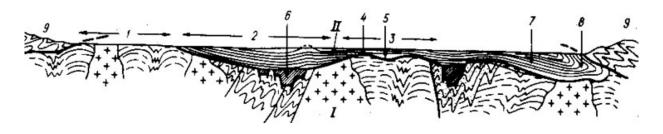


Рис. 1.2. Схема строения древней платформы:

I — фундамент; II — чехол; I — щит; 2 — синеклиза; 3 — антеклиза; 4 — свод; 5 — впадина; 6 — авлакоген; 7 — перикратонный прогиб; 8 — передовой прогиб; 9 — складчатая область

- *Щит* выступ фундамента, который на протяжении всего платформенного этапа развития испытывал тенденцию к поднятию.
- Плита часть платформы, перекрытая чехлом и обладающая тенденцией к прогибанию.

Молодые платформы — сформировались на верхнедокембрийском или палеозойском фундаменте. От древних платформ отличаются большей дислоцированностью чехла, меньшей степенью метаморфизма пород фундамента и значительной унаследованностью структур чехла от структур фундамента.

Горные области представляют собой тектонически активные сложноскладчатые, пронизанные интрузиями линейные зоны с мощной земной корой (иногда до 70-75 км). Располагаются как во внутренних частях континентов, так и окаймляют платформы.

Континентальные рифты – крупные прогибы земной коры, образующиеся в результате растяжения. В процессе эволюции могут привести к расколу континентов.

Основные структурные элементы океанов

Океанические плиты представляют собой обширные относительно выровненные территории на абиссальных глубинах. Мощность коры до 10 км. Тектоно-магматическая деятельность относительно слабая.

- Океанические глубоководные котловины замкнутые понижения с ровным дном.
- *Поднятия океанического дна* возвышаются на многие сотни метров. Мощность коры до 20 км и более.
- Вулканические сооружения изолированные подводные горы, их группы или линейные цепи, как подводные, так и надводные.
- Поднятия с корой континентального типа (микроконтиненты), мощностью до 25-30 км.

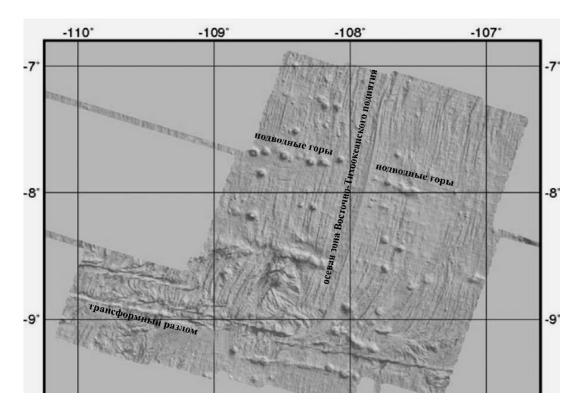


Рис. 1.3. Участок дна Тихого океана с Восточно-Тихоокеанским хребтом

Срединно-океанические хребты — наиболее подвижные структуры на дне океана. В современных океанах единая система этих хребтов протягивается более чем на 60 000 км, их ширина 1000-4000 км, превышение над близлежащими котловинами достигает 1500-3000 м. Характерны интенсивный тепловой поток, активный вулканизм, мелкофокусные землетрясения. Часто хребты раздвинуты трансформными разломами (рис. 1.3).

ОСНОВНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Для удобства геологические процессы принято делить на эндогенные и экзогенные, между которыми, тем не менее, резкой границы нет.

ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Проявления магматизма, метаморфизма, гидротермальная деятельность, тектоника (в том числе землетрясения, движения плит), а также процессы переноса энергии, возникновение магнитного поля.

Магматизм

Магма представляет собой расплавленное вещество земной коры или мантии, в результате кристаллизации которой образуются магматиче-

ские горные породы. С химической точки зрения это флюидно-силикатный расплав, состоящий из жидкости, газа и твердых кристаллов.

Магма после образования мигрирует вверх, так как плотность расплава меньше плотности окружающих пород. На пути к поверхности расплав обычно скапливается в крупных резервуарах — магматических камерах. Периодически магма из такой камеры может изливаться на поверхность в виде вулканических извержений.

Летучие компоненты в магме по объему составляют от 3 до 10 %. При падении давления они стремятся выделяться из расплава, способствуя образованию "сухих" магм. "Сухие" расплавы кристаллизуются при высокой температуре — около 1500-1600 °C. В то же время *природные* базальтовые расплавы имеют температуру кристаллизации 1200-1300 °C, а более кислые еще ниже, что свидетельствует о высоком содержании газов. Таким образом, температура кристаллизации магмы в значительной мере зависит от флюидного давления. Чем оно выше, тем температура кристаллизации ниже.

Важным фактором эволюции и дифференциации магматических расплавов является их *взаимодействие* с *вмещающими породами*. На больших глубинах перемещение магмы может происходить только при явлении магматического замещения, когда глубинные трансмагматические флюиды реагируют с вмещающими породами, растворяя их.

Интрузивный магматизм. В определенных условиях магма не достигает поверхности Земли и кристаллизуется на глубине, образуя интрузивные тела. В зависимости от глубины формирования интрузивные массивы подразделяют: на *субвулканические* (глубина до первых сотен метров); гипабиссальные (до 1-1,5 км); абиссальные (глубже 1-1,5 км).

По отношению к вмещающим породам среди интрузивов выделяются *согласные* (силлы, лополиты, лакколиты, факолиты и др.) и *несогласные* (дайки, штоки, батолиты и др.) – рис. 1.4.

Вулканизм. Если жидкий магматический расплав достигает земной поверхности, происходит его извержение, характер которого определяется составом расплава, его температурой, давлением, концентрацией летучих компонентов. Способ и скорость отделения летучих определяют три главные формы извержений – эффузивную, эксплозивную, экструзивную.

Жидкие вулканические продукты представлены лавой. Ее химический состав, вязкость, температура, содержание летучих определяют характер эффузивных извержений, форму и протяженность лавовых потоков. Шире всего распространены базальтовые лавы, которые уже при небольших уклонах текут со скоростью до 60 км/ч. Если рельеф слаборасчлененный, то жидкие базальты образуют обширные покровы. Базальты, изливающиеся в подводных условиях, образуют подушечные, или пиллоу-лавы.

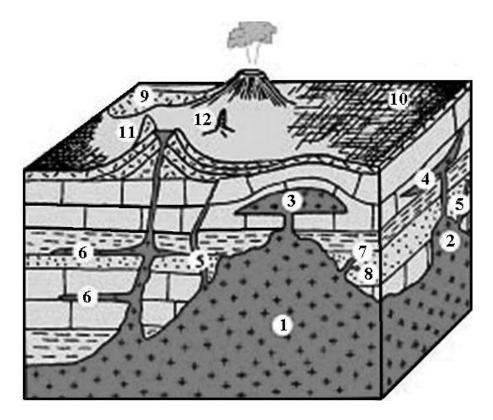


Рис. 1.4. Формы залегания магматических горных пород: интрузии: 1 – батолит; 2 – шток; 3 – лакколит; 4 – лополит; 5 – дайка; 6 – силл; 7 – жила; 8 – апофиза; э $\phi\phi$ узивы: 9 – лавовый поток; 10 – лавовый покров; 11 – купол; 12 – некк

Твердые и, частично, первоначально жидкие вулканические продукты образуются во время взрывных извержений. В зависимости от силы газовых взрывов и состояния вулканического материала (жидкого или твердого) происходит либо разбрызгивание расплава, либо распыление его на значительном пространстве. Мелкообломочные вулканические породы, состоящие из ювенильного и резургентного сцементированного материала, называют туфами, рыхлые продукты извержений – тефрой.

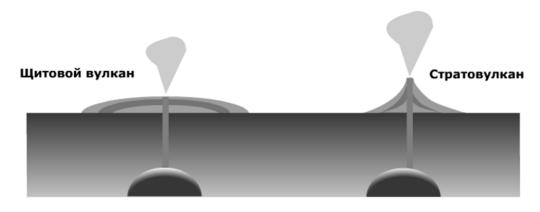


Рис. 1.5. Типичные формы вулканических конусов

В общем виде вулканы подразделяют на *линейные* и *центральные*. Форма вулканов центрального типа зависит от состава и вязкости магмы. Если постоянно извергается жидкая базальтовая лава, возникает так называемый щитовой вулкан – плоский обширный конус (*puc. 1.5*). Если вулкан периодически извергает то лаву, то пирокластические продукты, возникает стратовулкан с высоким относительно правильным конусом.

Метаморфизм

Метаморфизм представляет собой перекристаллизацию горных пород в твердом состоянии или с весьма небольшим участием расплава. Меняется минеральный состав породы, структура и текстура. При этом изменение минерального состава может происходить без изменения химического состава (изохимически) или с изменением такового (аллохимически).

Главными факторами метаморфизма являются эндогенное тепло, давление и химическое действие флюидов. По масштабам распространения, особенностям проявления и по преобладаниям тех или иных факторов обычно различают региональный и локальный типы метаморфизма.

По парагенезам минералов, образованных в определенных условиях давления и температур, выделены фации регионального метаморфизма. Среди проявлений локального метаморфизма различают контактовый (на контакте интрузий и вмещающих пород), динамометаморфизм (в зонах разломов) и ударный метаморфизм (при падении метеоритов).

Тектонические движения

В течение всей геологической истории земная кора испытывает сложные разномасштабные перемещения в пространстве и во времени, которые объединяются под общим названием *«тектонические движения* и *тектонические процессы»*. Они приводят к образованию геологических структур и различных по масштабам структурных элементов земной коры — от литосферных плит до небольших складок и разломов (*прил. 2*). С ними связаны землетрясения, обусловленные резкими разрывами и смещением напряжённых пород по разлому, возникающему близ поверхности Земли. Сейсмические колебания в виде волн, достигнув земной поверхности, производят разрушения.

Глубины очагов землетрясений могут быть разными — от первых километров до 600-700 км. Однако подавляющее количество землетрясений (около 90 %) происходят в интервале до 100-200 км. Приурочены они главным образом к конвергентным или дивергентным границам литосферных плит.

ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Протекают в верхней части земной коры и на ее поверхности в зоне взаимодействия внешних геосфер (атмосферы, гидросферы, биосферы) и каменной оболочки. К экзогенным процессам относятся выветривание, перемещение продуктов выветривания и осадконакопление (рис. 1.6).

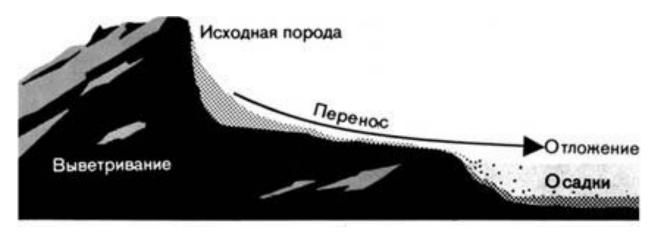


Рис. 1.6. Основные экзогенные процессы

Выветривание

Выветривание — совокупность физических, химических и биохимических процессов преобразования горных пород и слагающих их минералов в приповерхностной части земной коры.

К основным факторам выветривания относятся колебание температуры, химическое воздействие воды и газов (углекислоты и кислорода), воздействие органических веществ. В зависимости от преобладания тех или иных факторов условно выделяют два взаимосвязанных типа: физическое выветривание и химическое выветривание.

В процессе физического выветривания (рис. 1.7) наибольшее значение имеют суточные и сезонные колебания температуры. Особенно активно температурное выветривание проходит в областях пустынь, в меньшей степени в полярных и субполярных странах.

В областях с промывным типом режима увлажнения происходят процессы химического выветривания с образованием новых минералов. Особенно активно они проходят в тропических зонах, где высокая увлажненность, высокая температура и богатая лесная растительность. Все химические реакции в зоне выветривания подразделяются на 4 группы: окисление, гидратация, растворение, гидролиз.

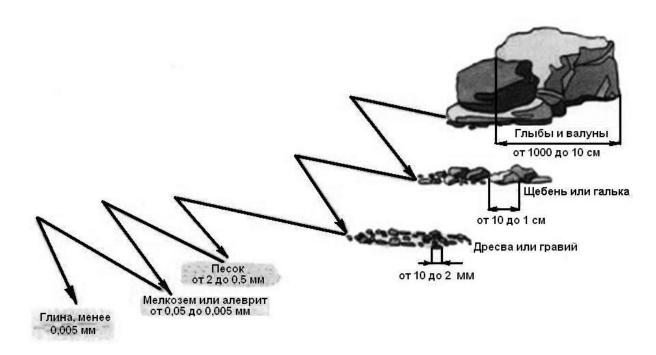


Рис. 1.7. Стадии физического выветривания

В результате единого взаимосвязанного процесса физического и химического разрушения горных пород накапливаются различные продукты выветривания, в том числе оставшиеся на месте разрушения коренных горных пород (элювий), которые все вместе образуют коры выветривания (рис. 1.8). В самом общем виде в ходе формирования коры выветривания различают четыре стадии: обломочную, сиаллитную, кислую сиаллитную, аллитную.

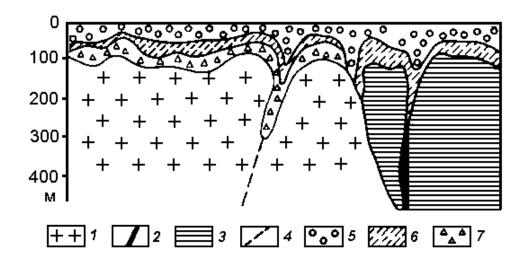


Рис. 1.8. Схема строения древней коры выветривания на гранитах Урала: I — граниты; 2 — жилы пегматита; 3 — сланцы; 4 — тектонические разломы; 5 — зона дресвы; 6— гидрослюдистая зона; 7 — каолинитовая зона

Геологическая деятельность ветра

Геологическая деятельность ветра наиболее ярко проявляется в пустынях, где дуют сильные ветры, мало осадков, резкие колебания температуры, отсутствует растительный покров. Имеет существенное значение и на побережьях океанов, морей, по крупным речным долинам, не покрытым растительностью.

Геологическая работа ветра состоит из дефляции, корразии, переноса и аккумуляции. Все процессы, обусловленные деятельностью ветра, создаваемые ими формы рельефа и отложения называют *эоловыми*.

Выделяют два основных генетических типа эоловых отложений – эоловые пески и эоловые лёссы. Наиболее распространенные формы рельефа – барханы и грядовые песчаные формы в пустынях, дюны – в прибрежной зоне морей.

Геологическая деятельность временных потоков

К временным потокам относится безрусловой плоскостной сток и русловые стоки — овраги и временные горные потоки. Плоскостной сток формирует делювий, горные потоки — пролювий.

Наибольшее геологическое значение имеют *временные горные по- токи*, которые интенсивно размывают окружающие породы, переносят огромное количество обломочного материала и формируют обширные конусы выноса. С деятельностью временных горных потоков связано образование селей (в Альпах – муров).

Геологическая деятельность рек

Реки производят значительную эрозионную, переносную и аккумулятивную работу. Это наиболее динамические системы, преобразующие рельеф.

В процессе развития реки выделяют стадии морфологической моло-дости и морфологической зрелости (рис. 1.9). При этом существенное значение имеют положение базиса эрозии и выработка продольного профиля равновесия.

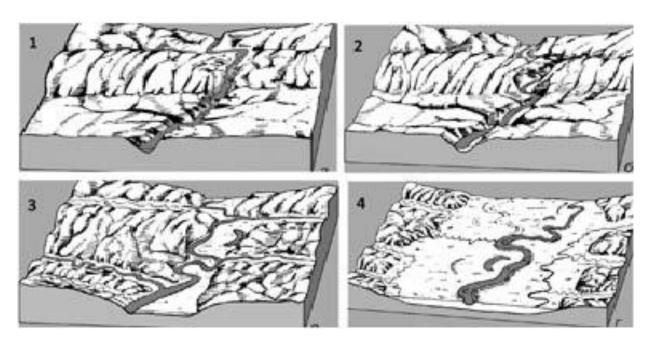


Рис. 1.9. Стадии развития речной долины: 1, 2 – морфологическая молодость; 3, 4 – морфологическая зрелость

Перенос материала осуществляется как волочением и перекатыванием по дну, так и во взвешенном состоянии (твердый сток) и в виде растворов. По мере выработки профиля равновесия и расширения долин образуются постоянные отложения, называемые *аллювиальными*, или *аллювием*, среди которых прослеживаются три фациальных типа – русловые, пойменные и старичные (рис. 1.10).

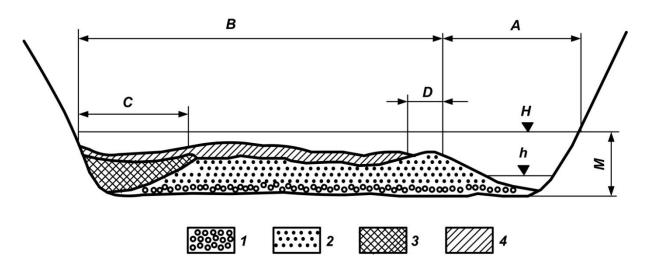
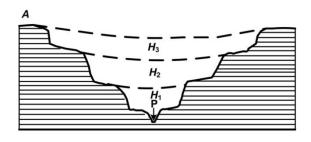


Рис. 1.10. Поперечный профиль долины зрелой реки:

A — русло; B — пойма; C — старица; D — прирусловой вал; H — уровень половодья; h — уровень межени; M — нормальная мощность аллювия. 1, 2 — русловой аллювий: 1 — разнозернистые пески, гравий, галька, 2 — мелко- и тонкозернистые пески; 3 — старичный аллювий, 4 — пойменный аллювий



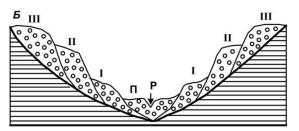
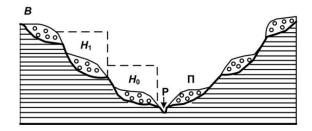


Рис. 1.11. Типы речных террас: A — эрозионные, или скульптурные; B — аккумулятивные; B — цокольные; P — русло; Π — пойма, I, II, III — надпойменные террасы; H_1 , H_2 , H_3 — эрозионные циклы



Свидетельством неоднократного омоложения речных потоков является наличие надпойменных террас, среди которых различают эрозионные, аккумулятивные и цокольные (*puc. 1.11*).

На формирование устьев рек влияют расход воды в реке, количество и состав переносимого обломочного материала, вдольбереговые морские течения, приливы и отливы, тектонические движения. По форме устьевых частей рек и характеру взаимоотношения с приемными бассейнами различают дельты и эстуарии.

Подземные воды

По условиям образования выделяют воды: 1) инфильтрационные, 2) конденсационные, 3) седиментогенные, 4) магматогенные, или ювенильные, 5) метаморфогенные.

По условиям залегания и распространения в разрезе, а также по гидравлическим характеристикам подземные воды подразделяют на почвенные воды и верховодку (зона аэрации) и грунтовые, межпластовые безнапорные, межпластовые напорные (зона насыщения).

Общую минерализацию подземных вод составляет сумма растворенных в них веществ. Обычно выделяют четыре группы подземных вод: 1) пресные; 2) солоноватые; 3) соленые; 4) рассолы. Основной химический со-

став подземных вод определяется тремя анионами — HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и тремя катионами — Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . *Минеральными* называют подземные воды, обладающие биологически активными свойствами.

Моря и океаны

Вся совокупность водных пространств океанов и морей, занимающих 70,8 % поверхности Земли, называется *Мировым океаном*. Основными элементами рельефа дна океана являются подводная окраина материков (шельф, континентальный склон, подножье континентального склона), ложе океана, глубоководные желоба, срединно-океанские хребты (рис. 1.12).

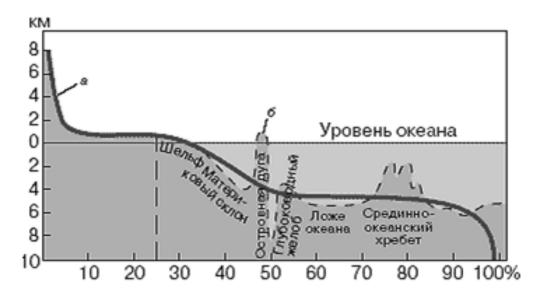


Рис. 1.12. Обобщенная схема рельефа дна мирового океана

Среди подводных континентальных окраин выделяют три типа: пассивный ($puc.\ 1.13$), активный и андский. Окраинные и внутриконтинентальные моря подразделяют на плоские (эпиконтинентальные) и котловинные.

В водах океанов и морей резко преобладают хлориды: NaCl, MgCl₂, KCl, на втором месте — сульфаты (MgSO₄ и CaSO₄). Гидрокарбонаты и другие соединения составляют менее 1 %. В морской воде растворены различные газы, особенно O_2 (36 %) и CO_2 (до 9 %). В некоторых морских бассейнах наблюдается аномальный газовый режим.

Морские организмы по условиям обитания и образу жизни подразделяют на три большие группы — планктон, нектон, бентос. Из них наибольшее значение в осадкообразовании имеют планктон и бентос. Большую роль играют бактерии. Развитие органического мира тесно связано с рельефом дна (зоны литоральная, сублиторальная, батиальная, абиссальная, субабиссальная). Исключение составляют районы выходов на дне термальных вод.

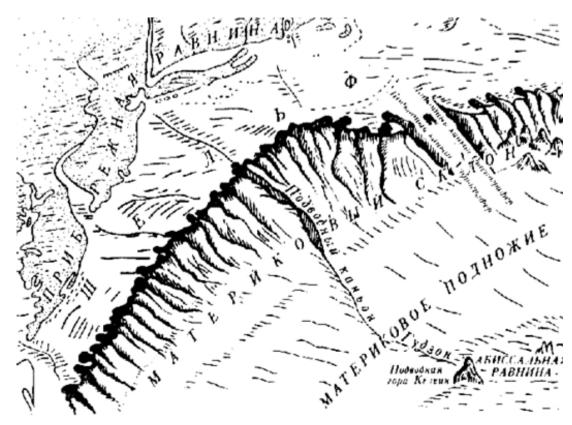


Рис. 1.13. Пассивная подводная окраина материка

Вся толща вод Мирового океана находится в непрерывном движении, в том числе волновые движения, приливно-отливные, поверхностные и глубинные морские течения, цунами.

Разрушительная деятельность моря (абразия) связана главным образом с волновыми движениями и, в значительно меньшей степени, с приливно-отливными. Со штормовым волнением связано возникновение у приглубых берегов волноприбойных ниш, клифов, абразионных и аккумулятивных террас, пляжей (рис. 1.14). На широких мелководьях энергия волн гасится, происходит перенос и аккумуляция осадков — образование надводных террас, подводных и надводных валов, баров, кос, томболо (рис. 1.15).

Наиболее важным процессом в Мировом океане является аккумуляция донных осадков — терригенных, органогенных (рис. 1.16), полигенных (красная глубоководная глина), вулканогенных, хемогенных. Вещественный состав и закономерности распределения осадков связаны с глубиной океанов и рельефом дна, гидродинамической обстановкой, характером осадочного материала, биологической продуктивностью, эксплозивной деятельностью вулканов. Терригенные осадки составляют основной фон в самых различных частях Мирового океана. При поступлении терригенного материала в Мировой океан происходит его механическая дифференциация.

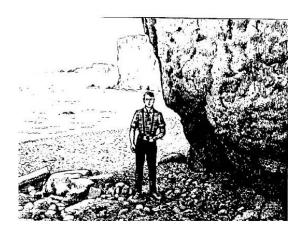




Рис. 1.14. Некоторые элементы рельефа зоны приглубого берега. На левом рисунке волноприбойная ниша, на правом – абразионная терраса, пляж и клиф

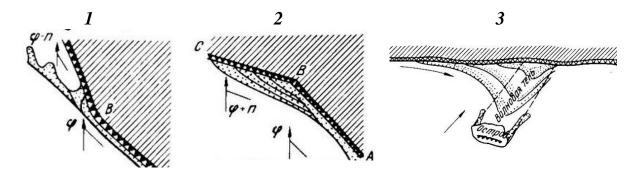


Рис. 1.15. Коса (I), примкнувшая аккумулятивная терраса (2) и томболо (3) у мелководного побережья

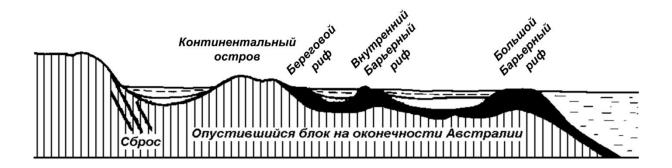


Рис. 1.16. Рифы у берегов Австралии

В целом в распределении осадочного материала по Мировому океану наблюдается несколько видов зональности (климатическая, вертикальная, циркумконтинентальная).

Преобразование осадка в осадочную породу

Осадок, который образуется во время осадконакопления, представляет собой неуравновешенную многокомпонентную систему — рыхлый, обычно насыщенный водой, высокопористый материал (ил). Сразу после отложения в нем начинаются различные химические и минералогические процессы, которые со временем приводят к образованию твердой осадочной породы. Регулируются эти процессы средой. Совокупность их (обезвоживание, цементация, уплотнение) называется диагенезом.

На стадии преобразования осадочных пород (*катагенез*) совершаются как физико-механические процессы (уплотнение), так и физико-химические и химические (растворение и коррозия неустойчивых минералов, кристаллизация новых минералов).

Литература

Короновский Н. В. Общая геология. М.: МГУ, 2002. 447 с. Рапацкая Л. А. Общая геология. М.: Высшая школа, 2005. 448 с. Общая геология: пособие к лабораторным занятиям / под ред. А. К. Соколовского. М.: Изд-во КДУ, 2006. 208 с.

2. ОСНОВЫ ПАЛЕОНТОЛОГИИ, ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЯ

Учебный курс под таким названием призван дать слушателям понимание предмета и задач двух таких, казалось бы, самостоятельных и прямо не связанных между собой отраслей знаний, как палеонтология и стратиграфия. Однако именно палеонтология, палеонтологический метод в прямом и переносном смысле вдохнули жизнь в учение о слоях земных, позволив не только упорядочить их во времени (биостратиграфия), но и увидеть реальную картину изменения лика Земли в фанерозое (палеогеография, историческая геология).

Основы палеонтологии

Палеонтология изучает (восстанавливает внешний облик и особенности организации) некогда живших на Земле животных и произраставшие растения по сохранившимся от них ископаемым остаткам и историю развития жизни на планете Земля (прил. 3). Зачем она это делает? Во-первых, это просто интересно – узнать, кто жил до нас на нашей планете. Здесь палеонтология тесно смыкается с биологией, которая имеет примерно тот же интерес, но к ныне живущим организмам. В палеонтологии используют биологические принципы классификации организмов. И это вполне понятно, так как выполненная к настоящему времени инвентаризация древних обитателей нашей планеты показала, что они в большинстве своем относятся к тем же типам, что и современные животные и растения, которых изучают биологи. Из царства животных представители лишь нескольких типов не смогли дожить до настоящего времени. Если же говорить о группах более низких систематических категорий, таких как классы, отряды, то здесь потери более значительны. Они были приурочены главным образом к периодам так называемых великих вымираний (границы палеозоя и мезозоя, мезозоя и кайнозоя и некоторые другие рубежи в истории развития планеты Земля).

Однако ископаемый материал для изучения древних организмов палеонтологи добывают из горных пород, и здесь они вынуждены обратиться к геологии, используя ее приемы работы с геологическими документами. Кооперация усилий палеонтологов и геологов привела к формированию чрезвычайно ценной отрасли геологических знаний — биостратиграфии. Биостратиграфия использует необратимое развитие органического мира в качестве своеобразного базиса для конструирования палеонтологических календарей (хронологических шкал), в которых устанавливается временная последовательность наиболее значительных событий в эволюции той или

иной группы ископаемых организмов. Соответственно и породы, в которых встречаются остатки этих организмов, занимают строго определенное положение на страницах этого календаря. Это позволяет, во-первых, установить последовательность формирования геологических тел во времени, а во-вторых, проследить одновозрастные пласты осадочных пород на значительной территории и воссоздать палеогеографическую обстановку на Земле в разные геологические эпохи.

Кроме отмеченного стратиграфического значения, палеонтологический материал дает возможность высказать некоторые соображения об условиях накопления тех отложений, в которых мы встречаем остатки живших в это время организмов. Решающее значение при этом имеет актуалистический подход. Иначе говоря, палеонтологи переносят в геологию те наблюдения и заключения, которые уже сделали биологи, изучающие близкие группы живущих ныне организмов. Так, биологи, изучающие современные коралловые рифы, хорошо знают, что такие образования существуют только в тропических и субтропических морях при среднегодовых температурах не ниже 18 °C. Кроме этого, также известно, что кораллы и водоросли, которые являются главными рифостроителями, требуют для своей жизнедеятельности много света, значительную аэрацию водной среды и ее нормальную морскую соленость (сильные дожди, разбавляющие морскую воду, буквально опустошают коралловые поселения). Встречая коралловые рифовые постройки в ископаемом состоянии (а они известны уже начиная с ордовика), палеонтолог говорит геологу, что этот риф сформировался в теплом климате, на незначительной глубине в хорошо освещенной зоне в морском бассейне с соленостью вод не менее $35^{-0}/_{00}$.

Более того, знание о мелководной обстановке обитания организмоврифостроителей позволяет задать верное направление для размышлений и тектонисту. Судите сами. Когда американцы в 1948 году готовили полигон для проведения испытаний атомного, а затем и ядерного оружия на атолле Эниветок в Тихом океане, они пробурили скважину на глубину в 1,5 км, которая не вышла из тела рифа. Как могли образовать такое мощное геологическое тело мелководные организмы-рифостроители? Только в том случае, если вулканический остров, на мелководном склоне которого поселяются кораллы-рифостроители, будет медленно погружаться в морскую пучину, причем со скоростью, не большей, чем скорость роста кораллов данного кольцевого рифа (истины ради, заметим, что к такому выводу пришел Ч. Дарвин задолго до того, как американцы начали испытывать ядерное оружие).

Наблюдения за современными организмами позволяют сделать важные заключения об условиях осадконакопления прошлых геологических эпох, построить на этой основе палеогеографические карты, дать прогноз

на обнаружение определенных полезных ископаемых и сделать много других полезных заключений.

После сделанных замечаний, которые дают общие представления о значении палеонтологии в геологических исследованиях, остановимся на более конкретных сведениях о тех древних организмах, которые наиболее востребованы в геологии, главным образом в биостратиграфии. В этой связи хотелось бы напомнить, что более 70 % поверхности нашей планеты покрыто водной оболочкой. По-видимому, эта ситуация не сильно изменялась и в прошлом. По этой причине подавляющее большинство осадочных отложений являются морскими по своему происхождению, как морскими являлись и заключенные в них в виде палеонтологических остатков организмы. Таким образом, большинство из тех организмов, о которых пойдет далее речь (рис. 2.1), являются морскими животными.

Но предварительно еще одно короткое замечание, касающееся палеонтологической истории развития жизни на Земле. Палеонтология может изучать только те организмы, которые, так или иначе, оставили какойлибо след своего существования. Из таких следов самый информативный - это минеральные скелетные образования, которые после смерти животного могут быть быстро погребены под накапливающиеся осадочные отложения. Там они легко литифицируются (окаменевают) и в таком виде могут сохраняться длительное время. Это еще не значит, что все животные, имеющие возможность оставить после себя скелетную память, непременно дойдут до современного палеонтолога. Ничуть не бывало! Только сотые доли процента некогда существовавших видов могут сохраниться в ископаемом состоянии. Но лучшие шансы дойти до нас имеют морские скелетные организмы, так как в морских условиях их погребение устраивается наилучшим образом. На суше разрушение происходит значительно активнее. Самые первые и сразу разнообразные типы организмов с минеральными скелетами появились внезапно в морских бассейнах, только начиная с раннего кембрия. Почему и какие причины вызвали этот феномен - до сих пор предмет дискуссий и толков. Но в дальнейшем они продолжали поставлять материал для палеонтолога в течение всего фанерозоя. Таким образом, время существования тех животных, о которых пойдет речь, укладывается в относительно небольшой отрезок времени существования нашей планеты – 542 млн лет.

Начинать рассказ целесообразно с наиболее просто устроенных – с одноклеточных животных, которые относятся к типу *Простейших*. Впрочем, некоторые из них могут уверенно претендовать на двойное гражданство – могут, например, питаться как животные (если окажутся в темноте, без света) и как растения (если света достаточно). Все представители типа Простейших состоят из одной клетки и потенциально бессмертны, так как

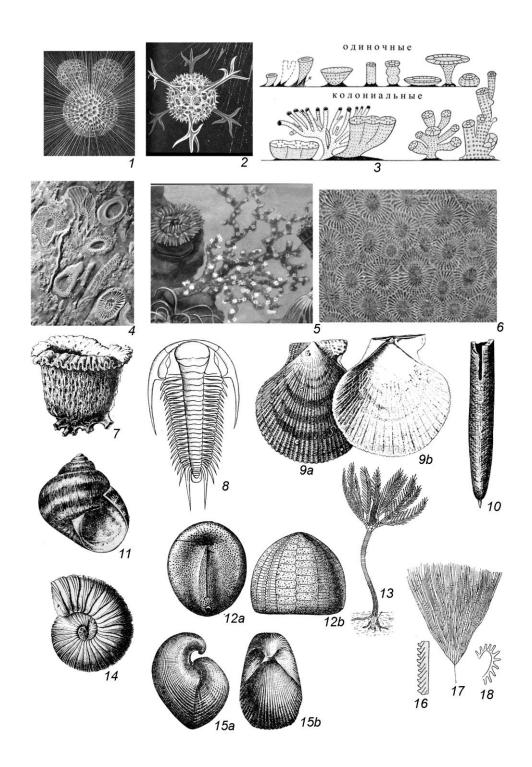


Рис. 2.1. Представители основных типов беспозвоночных животных:

1, 2 — тип Простейшие: 1 — фораминифера, 2 — радиолярия; 3, 4 — тип Археоциаты: 3 — внешний облик одиночных и колониальных форм, 4 — поперечное сечение отдельных форм; 5, 6 — тип Стрекающие, класс Кораллы: 5 — современный коралл, 6 — девонской четырехлучевой коралл; 7 — тип Губки, меловая кремнистая губка; 8 — тип Членистоногие, кембрийский трилобит; 9, 10, 11, 14 — тип Моллюски: 9 — двустворка (а — правая, b — левая створки), 10 — белемнит, 11 — виноградная улитка, 14 — позднеюрский аммонит; 12, 13 — тип Иглокожие: 12 — мезозойский морской еж (а — с нижней стороны, b — сбоку), 13 — морская лилия; 15 — тип Брахиоподы (а — вид сбоку, b — со стороны спинной створки); 16-18 — тип Полухордовые, Граптолиты: 16, 18 — силурийские формы, 17 — ордовикская форма

размножаются делением. Наибольший интерес вызывают те из простейших, которые имеют минеральные скелеты, как, например, представители класса Саркодовые. Из них Фораминиферы, имеющие внешнюю минеральную (известковую СаСО₃) раковинку, и Радиолярии – с внутренним скелетом из кремния (SiO₂). Размер фораминифер от долей миллиметра до нескольких (иногда полутора десятка) сантиметров. Радиолярии значительно мельче, и размеры некоторых из них укладываются в первые десятки микронов. И те и другие известны с раннего палеозоя и продолжают существовать до сих пор в современных морях и океанах. Количество их так велико, что известковистые раковинки современных планктонных фораминифер, выброшенные ветром на пляжи Средиземноморья, могут почти нацело слагать песок этих пляжей. Кроме этого, и в глубоких участках моря фораминиферы и радиолярии могут образовывать глубоководные илы, которые впоследствии станут фораминиферовыми известняками, мелом или кремнистыми образованиями, например радиоляриевыми яшмами. Иными словами, несмотря на свои незначительные размеры, эти животные являются важными геологическими агентами - породообразователями. Планктонные их представители широко разносятся ветрами и течениями по океану и дают возможность сопоставить по возрасту очень отдаленные разрезы горных пород. Кроме этого, фораминиферы очень чувствительны к температуре, и анализ изменения их комплексов по колонке керна из скважины, пробуренной в современном океаническом дне, дает возможность проследить изменение климата на протяжении многих тысячелетий.

Далее список продолжат низшие многоклеточные, из которых типы *Губок* и *Археоциатов* наиболее ценны в геологических исследованиях. Их скелеты очень похожи иногда по составу (известковому, но есть губки, у которых скелет кремнистый) и по структуре: у представителей обоих типов — похожий на кубки или мешкообразный скелет весь пронизан порами. Археоциаты жили в кембрии, там они и вымерли. Но они успели подать первый пример рифостроения, оказавшийся уже в следующем, ордовикском, периоде весьма заразительным для класса кораллов. Животные, принадлежащие к названным типам, разных размеров, но в среднем размером с авторучку, прокачивали через себя воду и извлекали из нее пищевые частицы, тем и жили. Археоциаты имеют большое стратиграфическое значение в кембрии, а кремнистые губки — в меловом периоде.

Высшие многоклеточные открываются типом *Стрекающих*, среди которых класс *Коралловых полипов* — геологически самый важный. Кораллы часто имеют внешний известковый скелет, ведут одиночный или колониальный образ жизни. В последнем случае от одиночного полипа отпочковывается еще один, не теряющий органичной связи с первым, и этот процесс повторяется многократно и приводит к образованию цельной ко-

лонии полипов (особей). Если во внутренней полости полипов поселяются одноклеточные водоросли (зооксантеллы), то образование известкового скелета ускоряется в десятки раз. Тогда кораллы при подходящих условиях вполне способны заняться рифостроением. Однако в любом случае они хороши для определения возраста как в палеозое, так и в мезозое.

Следующий тип – Членистоногие – по количеству видов составляют $^{9}/_{10}$ общего числа видов организмов на Земле. Это первенство обеспечивают членистоногим представители класса насекомых, которые, к сожалению, сохраняются в ископаемом состоянии очень редко. Не в пример им другой класс вымерших морских животных, которых назвали Трилобитами, т. е. трехлопастными (две боковые лопасти и осевая часть тела). Хитиновый панцирь этих животных, ползавших по дну палеозойских морей, пропитывается фосфорнокислой известью и прекрасно сохраняется в палеозойских отложениях. Поскольку трилобиты, как и все членистоногие, периодически линяли (некоторые не только снаружи, но и изнутри), то при жизни одна особь трилобита оставляла после себя не менее десятка изношенных панцирей, что резко увеличивает шансы этой группы остаться запечатленной в палеонтологической летописи. Уровень организации очень высок. Они имели практически весь набор органов чувств, в том числе великолепные фасеточные глаза, позволяющие вести круговой обзор, не поворачивая головы. Геологическое значение трилобитов для стратиграфии нижнего палеозоя (кембрий, ордовик) чрезвычайно велико.

Членистоногие в целом — чрезвычайно жизнестойкая группа, и неудивительно, что именно из их среды вышли первые сухопутные жители планеты Земля. Например, сухопутные скитальцы скорпионы известны уже с силура.

Теперь необходимо сказать несколько слов о представителях типа *Моллюсков*, большинство из которых в далеком прошлом имели внешнюю, иногда весьма затейливо построенную известковистую раковину. У моллюсков есть все те органы, которые имеются у нас с вами: сердце, печень, почки, у некоторых – легкие, нервная система и даже (у головоногих моллюсков) головной крупный нервный узел, заключенный в хрящевую капсулу – аналог черепа у высших позвоночных. Для передвижения используется нога, которая у представителя класса *Головоногих* превращена в реактивный (водометный) двигатель. Впрочем, представители других классов моллюсков (*Двустворок* и *Гастропод*-улиток) не могут похвастаться скоростью передвижения. Двустворки – большие мастера по изготовлению жемчуга. Аммониты – группа из класса *Головоногих* моллюсков – имеют очень большое стратиграфическое значение для мезозойской истории осадконакопления. Их очень красивые спирально завитые перламутровые раковины пользуются также большим спросом у коллекционеров. В со-

временных условиях остался единственный представитель этой группы наружнораковинных головоногих — жемчужный кораблик (Nautilus pompilius L.), обитающий только у берегов Индонезии. Зато потомки внутреннераковинных *Белемнитов* — осьминоги, кальмары, каракатицы — продолжают жить в современных морях и океанах.

Иглокожие – беспозвоночные организмы, обнаруживающие наибольшую близость к нам, позвоночным. Во всяком случае, личинки морских ежей почти неотличимы от личинки ланцетника. Среди типа Иглокожих есть такие классы, представители которых ведут прикрепленный (сидячий) образ жизни, как современные морские лилии, которые известны с ордовика. После их гибели известковые членики их осевого скелета и рук рассыпаются по дну и могут формировать породу – криноидный известняк. Но многие иглокожие ведут подвижный образ жизни, перемещаясь либо с помощью пневматических ампул-ножек, либо змееобразно извивая лучи, либо вообще разгуливая на своих иглах как на ходулях. Среди них установлены классы: морские звезды, морские змеехвостки, морские огурцы и морские ежи. Сами названия свидетельствуют о том, что это обитатели моря. Они действительно не выдерживают опреснения ниже 11 %. Находка их ископаемых представителей позволяет предполагать, что вмещающие их породы накопились в условиях полносоленого морского бассейна. Отпечатки и ядра морских звезд известны с докембрия, а все прочие - начиная с кембрия.

Типы *Мшанки* и *Брахиоподы*, несмотря на очень разную морфологию скелета, имеют похожее строение мягкого тела, в котором есть желудок, глотка и специальные реснитчатые брахиоли, с помощью которых вода нагнетается в ротовое отверстие. Сходен и неподвижный образ жизни этих животных. Однако если все брахиоподы — одиночные морские животные, то мшанки ведут только колониальный образ жизни и обитают не только в морях, но и в пресноводных бассейнах. У брахиопод скелет внешний в виде двустворчатой известковой раковины. С помощью ножки, выходящей из-под макушек раковинки, животное прикрепляется ко дну. У мшанок стратегия иная: они прирастают к каменистому дну или предметам, на нем лежащим и даже плавающим, и образуют колонию, в которой много отдельных специализированных особей: одни питают всю колонию, другие отпугивают паразитов, третьи занимаются размножением и т. д.

Представители обоих типов известны с кембрия и очень важны для стратиграфии палеозоя.

Наконец, несколько слов о внешне неказистых, но самых важных для стратиграфии ордовика и силура представителях типа *Полухордовых*, относимых к классу *Грантолитов*. Скелетные остатки колоний этих животных имеют облик прямых, изогнутых или спиральных прутиков длиной до

десятка сантиметров, на которых располагаются ряды ячеек для отдельных особей. Остатки граптолитов встречаются обычно на плоскостях напластования глинистых сланцев в виде сплющенных веточек из графитоподобного материала.

Полухордовыми мы заканчиваем рассмотрение палеонтологии беспозвоночных животных, ископаемые остатки которых наиболее востребованы в геологии. Тех наших слушателей, которые хотели бы пополнить свои знания о древних позвоночных животных и растениях, мы отсылаем к нашей компьютерной презентации. Ее можно скопировать на накопитель и просмотреть самостоятельно.

Общая стратиграфия

Основные понятия

Геология обрела статус науки в строгом смысле этого понятия после того, как она была поставлена на историческую основу.

Чем бы ни занимался геолог — отдельным минералом или структурой горных сооружений — у него возникают вопросы, начинающиеся со слова "когда?" Когда образовался минерал, когда отложились эти слои и когда они смялись в складки и т. д., и т. п. Не зная, что было раньше, а что позже, мы не сможем восстановить причинно-следственные связи между интересующими нас явлениями.

Поэтому, пока в геологии используется исторический метод, она всегда будет прибегать к услугам стратиграфии, официально ответственной за установление временных отношений между телами, слагающими земную кору.

Существует много определений науки стратиграфии, которые отражают тот круг задач, которые, по мнению того или иного исследователя, должна решать стратиграфия. Будем использовать следующее определение: стратиграфия — это отрасль исторической геологии, которая упорядочивает породы по времени их образования и устанавливает временную шкалу для датировки геологических процессов и событий.

Есть расширенная трактовка, которая включает в сферу стратиграфии изучение литологии и условий образования пород.

Наиболее благоприятным объектом для стратиграфических исследований являются первично слоистые геологические тела, представленные осадочными породами, пластовыми эффузивами и туфами. Именно для этих пород с помощью стратиграфических методов выявляется последовательность их формирования и положение в геологическом разрезе.

Забегая несколько вперед, мы обсудим определение С. В. Мейена понятия "стратиграфическая шкала" — основного инструмента, которым пользуется стратиграф для установления временных взаимоотношений между интересующими его объектами. В конкретных разрезах определенной местности всегда есть какие-то общие признаки, отражающие следы одних и тех же обстановок и событий. Совокупность этих следов, повторяющаяся в определенной последовательности во всех конкретных разрезах, составляет для них общую стратиграфическую шкалу. На рис. 2.2, иллюстрирующем построение такой шкалы, одинаковыми буквами обозначены одноименные следы и обстановки (далее будем называть их признаками), которые запечатлелись в двух исследуемых разрезах.

Д	Д		Д	
Г	В		В+Г	
В	Г			
Б	Б		Б	
Α	Α		A	

Рис. 2.2. Построение стратиграфической шкалы

Для построения региональной шкалы по двум разрезам мы вначале каждый из них расчленили на ряд подразделений по признакам (следам обстановок), которые повторяются в обоих разрезах. Затем, пользуясь этими признаками как индикаторами одновозрастности, сопоставили одноменные подразделения обоих разрезов и получили (справа) последовательность признаков, не противоречащую аналогичной последовательности этих же признаков в исследуемых разрезах. Следует обратить ваше внимание на то, что на схеме справа — это не разрез, а последовательность подобранных нами признаков, общая для обоих реальных разрезов. Именно эта последовательность и является стратиграфической, а точнее хронологической шкалой, которую мы в дальнейшем можем использовать для целей стратиграфии.

Для построения шкалы можно использовать признаки разной природы (литологические, фаунистические, тектонические и др.). Например, можно выбрать последовательность только литологических признаков, общих для всех разрезов. В этом случае мы получим литологическую шкалу. Или выбрать последовательность палеонтологических признаков — получим биостратиграфическую шкалу и т. д.

Принципы стратиграфии

После этого вступления, которое только слегка наметило контуры выполняемых специалистами стратиграфических исследований, рассмотрим основные принципы, положенные в их основу и делающие возможным выполнение такой работы.

I принцип (Стенона)

Начнем с положения, которое называют принципом Стенона по имени датского натуралиста Нильса Стенона (1638-1686). Стенон в 1669 году в диссертации "О твердом, естественно содержащемся в твердом" сформулировал в том числе и основную аксиому стратиграфии: 1. Первоначальное залегание осадочных слоев практически горизонтально. Отсюда следует, что наклонное положение слоев — вторичное. 2. Каждый слой (при нормальном, ненарушенном залегании) моложе подстилающего и древнее перекрывающего его слоя. Таким образом, пласты горных пород, отлагавшиеся в бассейнах прошлых геологических периодов, залегают в определённой временной последовательности, изучая которую, можно составить стратиграфическую колонку.

Н. Стенон сформулировал положения, относящиеся к определению относительного возраста (что моложе, что древнее) и для минералов в породе. Например, если один из минералов, соприкасающийся со вторым, оставляет на его поверхности отпечаток своей грани (скажем, комбинационная штриховка пирита запечатлена на соседнем с ним кварце), то этот минерал образовался раньше, чем тот, на котором оставлен след его грани.

Пространственные взаимоотношения геологических тел позволяют, воспользовавшись указаниями Стенона, решить вопрос и об относительном возрасте интрузивных образований.

Но вернемся к слоям земным. Можно сказать, что с принципом Стенона в геологию вошло понятие времени. Этот принцип позволяет пространственные отношения между геологическими телами перевести во временные. Но время это удивительное. В нем ни слова не сказано о продолжительности, длительности, а речь идет только о порядке следования

событий: какое из них произошло раньше, а какое — позже. По этой причине стратиграфическая шкала, о которой шла речь выше, называется шкалой относительного возраста, или, более точно, *хронологической шкалой*.

Итак, после введения принципа Стенона оказалось возможным расчленять разрезы на подразделения, следующие друг за другом во времени, где каждое вышележащее подразделение разреза моложе предыдущего.

Если бы у нас была возможность иметь такое место на планете, где осадконакопление происходило непрерывно в течение всего времени существования Земли, мы могли бы получить в принципе такую стратиграфическую колонку, которая позволила бы выделить на ней все мыслимые хронологические подразделения. А затем извлечь из нее шкалы разной специализации: литологическую, биостратиграфическую и т. п. Но, как вы знаете, таких разрезов в природе нет. В одно и то же время в разных местах на поверхности Земли существовали и существуют разные условия: где-то накапливаются осадки, а где-то размываются уже отложенные. Поэтому для того, чтобы получить общую стратиграфическую шкалу для всего времени осадкообразования на планете, приходится собирать ее из отдельных фрагментов. А для выполнения этой работы нужно найти какойто способ, который позволил бы сопоставить между собой по возрасту удаленные друг от друга разрезы и расставить их в одинаковой временной последовательности.

II принцип (Гексли)

Первым такую работу выполнил английский горный инженер У. Смит (1769-1839). Он предложил сопоставлять и прослеживать слои осадочных пород по характерным для них ископаемым остаткам организмов. Коротко суть его метода отражена в тезисе: одинаковые фауны — одновозрастны. Сопоставление отложений по характерным (как говорят, — руководящим) видам ископаемых и до сих пор используется в работе по параллелизации (корреляции) слоев по возрасту и составлению сводного разреза.

Т. Гексли сделал следующий шаг в развитии метода сопоставлений отложений по возрасту. Он предложил считать одновозрастными те отложения, которые содержат не только одинаковые ископаемые (руководящие формы), но и одинаковую последовательность органических остатков в сопоставляемых разрезах. Наблюдая один и тот же порядок (Гексли называл его "гомотаксисом") размещения комплексов фауны в разных разрезах, мы сопоставляем соответствующие друг другу по положению (гомотаксальности) комплексы и тем самым вмещающие их отложения. В нашем примере сопоставления двух разрезов (см. рис. 2.2) мы считали одновозрастными те части разрезов, которые содержали, например, комплекс В, не только по-

тому, что эти комплексы идентичны, но и потому, что они располагаются между комплексами А и В+Г. Можно распространить этот подход, как это сделал С. В. Мейен, на все признаки (а не только палеонтологические) и использовать комбинации признаков разной природы и тем самым резко раздвинуть возможности метода стратиграфической корреляции. Скажем, закладывать в характеристику подразделений разреза последовательность литологических, геофизических, палеонтологических и других признаков.

III принцип (Мейена)

Наконец, скажем о последнем затруднении, которое приходится преодолеть при корреляции разрезов. Это затруднение связано с тем, что каждый стратиграфический признак имеет ограниченное площадное распространение. Например, нам требуется сопоставить морские разрезы отложений, сформировавшихся на разных глубинах и содержащих различную фауну, с разрезами отложений, образовавшимися в континентальных условиях. Для этой цели С. В. Мейен предложил третий принцип — хронологической взаимозаменяемости признаков (принцип ХВП). Суть его совершенно ясна из следующего приводимого им примера. В одном разрезе мы наблюдаем совместное нахождение в одном слое комплекса остракод и аммонитов, в другом разрезе — тех же остракод и миоспор, в третьем — тех же миоспор и сухопутных позвоночных. Проследив эту смену в пространстве, мы можем сопоставить комплексы морских аммонитов и наземных позвоночных и тем самым хронологически отождествить вмещающие их разнофациальные отложения — морские и континентальные.

Задачи

После всего сказанного должно быть ясно, как в общем случае решаются те задачи стратиграфии, которые традиционно рассматриваются в качестве основных.

Расчленение конкретных разрезов и установление стратиграфических подразделений выполняется на основе принципа Стенона.

Сопоставление по возрасту конкретных разрезов определенных регионов и создание региональных стратиграфических шкал (стратиграфических схем) выполняется на основе принципа Гексли.

Разработка Международной стратиграфической шкалы (сводная колонка для Земли в целом) выполняется с помощью принципов Гексли и Мейена.

Международная стратиграфическая шкала с ее общепринятыми названиями стратиграфических подразделений (силур, девон, протерозой,

мезозой и т. п.) вводит в международный обиход единый хронологический язык, используемый геологами всего мира. Это позволило стать геологии наукой интернациональной и объединить усилия различных специалистов, изучающих разные стороны развития нашей планеты. В прил. 4 приводится стратиграфическая шкала, используемая в России.

Основные стратиграфические подразделения

І. Местные (литостратиграфические) подразделения: слой (пласт), пачка, свита, толща, серия, комплекс.

Питостратиграфические подразделения — совокупность слоев горных пород, представляющая преимущественно один литологический тип либо состоящая из комбинации литологических типов, или обладающая другими выразительными и общими для всего подразделения литологическими признаками.

Слой (пласт) — литологически однородная единица (тело), ограниченная субпараллельными поверхностями, линейные размеры которых значительно превышают расстояние между ними.

Пачка — небольшая по мощности совокупность слоев, характеризующихся некоторой общностью признаков или одним определенным признаком, которые отличают ее от смежных по разрезу пачек в составе толщи или свиты.

Свита — основная картируемая литостратиграфическая единица, включающая комплекс либо литологически однородных отложений, либо закономерно переслаивающихся нескольких типов пород. Свита должна быть четко отграничена от выше- и нижележащих свит по характерным литологическим признакам либо маркирующими горизонтами (характерными маломощными породами, фаунистическими слоями). Преимущество при установлении границ свиты отдается литологическим признакам. В американской терминологии свите соответствует Формация.

Tолща — та же свита, но без ясно выраженных нижней и (или) верхней границ.

II. Региональные (главным образом биостратиграфические) подразделения: горизонт, лона (региональная зона), слои с географическим названием (по литологическому составу и (или) на биостратиграфической основе).

Горизонт – включает одновозрастные свиты (серии свит) или их части, а также другие лито- и биостратиграфические подразделения. В фанерозое горизонты устанавливаются на биостратиграфической основе. Горизонты могут не смыкаться в сводном региональном разрезе.

Горизонт — это своеобразная корреляционная единица, которая позволяет создать предварительный стратиграфический каркас для будущей региональной стратиграфической шкалы.

Биостратиграфические подразделения — совокупности горных пород, охарактеризованные ископаемыми остатками организмов, позволяющих отличить данное подразделение от выше- и нижележащих образований. Это главным образом зональные подразделения на шкале и стратозоны — в разрезе.

III. Общие (хроностратиграфические) подразделения:

Акротема (архей, протерозой) – Акрон

Эонотема (фанерозой) – Эон

Эратема (палеозой) – Эра

Система (силур) – Период

Отдел (нижний) – Эпоха

Ярус (венлок) – Век – основная таксономическая единица Общей стратиграфической шкалы, подчиненная отделу; устанавливается по биостратиграфическим данным.

Зона (раздел) – Фаза

Cmpamomun

Стратотип, или стратотипический разрез, – конкретный разрез (единый или сводный, составной) определенного стратиграфического подразделения, специально выбранный и описанный в качестве эталонного. Основное назначение стратотипа состоит в том, что он является носителем основных признаков, по которым было установлено стратиграфическое подразделение. Наличие стратотипа способствует выработке одинакового понимания исследователями данного стратиграфического подразделения. К стратотипам предъявляется целый ряд требований, из которых наиболее важным является четкое определение нижней границы для яруса и нижней и верхней границ для свиты и зоны. Если, как это бывает в случае яруса, достаточно определить только нижнюю границу, то вместо термина "стратотип" употребляют термин "лимитотип", т. е. типовой разрез, в котором определена граница (limitis - граница).

Стратиграфический кодекс

Стратиграфический кодекс – это сводка основных правил и рекомендаций, которые должны использовать специалисты при проведении стратиграфических исследований. В нем дается определение и разъясняется

содержание применяемых в стратиграфии терминов и понятий. Кодекс должен обеспечить единообразное понимание и применение терминов и наименований в стратиграфических исследованиях. На стратиграфические подразделения, установление которых подчиняется правилам кодекса, распространяется право приоритета, заключающееся в охране их наименований.

Выполнение требований стратиграфического кодекса обязательно при проведении геологических работ всеми ведомствами на территории России.

Все стратиграфические подразделения, которые обсуждались, взяты из последнего стратиграфического кодекса 2006 года издания. Там же приведены правила их описания и установления.

Литература

Мейен С. В. Время без часов, или Похвальное слово создателям геохронологии // Знание-сила. 1986. № 12. С. 33-34.

Прозоровский В. А. Общая стратиграфия. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Изд. центр «Академия», 2010.208 с.

Черных В. В. Практикум по палеонтологии беспозвоночных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 84 с.

3. ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Общее представление о дисциплине

Историческая геология рассматривает историю развития планеты Земля и ее геосфер в их взаимодействии и взаимовлиянии в эволюционном плане. Историческая геология — комплексная научная дисциплина, она включает в себя четыре главных направления: геохронологию, стратиграфию, палеогеографию и палеотектонику в их тесной связи.

Геохронология – это, в общем виде, календарь геологических событий, шкала геологического времени, охватывающая около 4,6 млрд лет. Стратиграфия изучает последовательность напластования (расчленение толщ на слои) осадочных, вулканогенных и метаморфических пород; устанавливает относительный возраст слоев (относительно друг друга); проводит их сопоставление (корреляцию) по заключенным в них органическим остаткам (фоссилиям), а также по физико-химическим характеристикам. Палеогеография своей целью имеет восстановление и реконструкцию физико-химико-географических и биотических условий и обстановок геологического прошлого. Палеотектоника изучает историю движений и деформаций земной коры, приводящих к формированию складчатых (складчато-покровных) горных сооружений, к последующему образованию на их месте устойчивых глыб континентальной коры (платформ – кратонов) и разрушению коры. Земная кора и вся литосфера были постоянно разделены на отдельные крупные и более мелкие плиты, которые испытывали значительные горизонтальные и вертикальные перемещения относительно друг друга; восстановление былого положения континентальных блоков и конфигурации разделявших их океанов составляет одну из главных задач палеотектоники.

Перечисленные научные направления имеют своей целью воссоздание обстановок прошлых геологических эпох, а объединение их в общую картину составляет задачу исторической геологии в целом. Надо заметить, что если совсем недавно исследования в области исторической геологии были направлены на ретроспективу, т. е. на восстановление условий и обстановок геологического прошлого, то в последние годы со все большей определенностью выступает новый аспект – прогностический.

Историческая геология:

- изучает геологическую историю Земли со времени ее возникновения;
- устанавливает причины образования и развитие литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы;

- дает характеристику ландшафтно-климатических и геодинамических обстановок;
- определяет время возникновения и исследует условия образования горных пород и связанных с ними полезных ископаемых;
- рассматривает геологическое прошлое в хронологическом порядке, что дает возможность выявить и общие закономерности развития нашей планеты и земной коры, и особенности отдельных этапов геологической истории.

Планета Земля во Вселенной, Галактике и Солнечной системе

Планета Земля является неотъемлемой составной частью Ближнего и Дальнего Космоса.

Наша Галактика, которую еще со времен древних греков называют «Галактикой Млечного Пути», представляет собой неоднородное скопление звезд и туманностей, где Солнце является заурядной звездой небольшой величины.

Вселенная, в которой расположена наша Солнечная система, сформировалась между 10 и 18 млрд лет назад, и Вселенная примерно в два раза старше Солнечной системы (см. прил. 1). Причиной образования Вселенной мог быть гигантский взрыв вещества (т. н. «Большой взрыв»), породивший облачные скопления водорода и гелия. Галактика Млечного Пути – одна из 100 000 галактик в наблюдаемой части Вселенной – обладает формой уплощенного спирального диска диаметром около 100 000 св. лет и толщиной в 20 000 св. лет.

Солнце, представляющее собой небольшую звезду среднего возраста типа желтого карлика, располагается на расстоянии 30 тыс. св. лет от центра Галактики в пределах главного диска. Все звезды медленно вращаются вокруг галактического центра. Солнце с планетами совершает один оборот вокруг центра Галактики за 215 млн лет со скоростью 240 км/с.

Солнечная система состоит из одной звезды — Солнца, восьми планет, более 60 спутников планет, 100000 астероидов, сотен комет, огромного числа метеоритов, а также направленных потоков ионов и протонов — солнечного ветра. Основная масса Солнечной системы сосредоточена в Солнце — 99,87 %; 0,1 % приходится на Юпитер, а на долю всех остальных тел системы — менее 0,03 %.

Вокруг Солнца вращаются восемь планет. Меркурий, Венера, Земля и Марс, т. е. четыре ближайшие к Солнцу планеты, относятся к внутренним планетам, или планетам земной группы. Далее, за Марсом, за поясом астероидов располагаются еще четыре планеты внешней группы – гиганты

Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Плутон, ранее считавшийся девятой планетой, ныне отнесен к астероидам или малым планетам.

Происхождение Солнечной системы

Звезды типа Солнца — желтые карлики — формируются при сжатии газопылевых облаков. Причиной сжатия газопылевого облака мог быть взрыв близкой сверхновой звезды, ударные волны от которого и заставили облако сжиматься и вращаться. Облако состояло из 99 % газа и 1 % пылевых частиц (микронный диаметр частиц).

Когда газопылевое облако начало сжиматься и вращаться, в дисковидном облаке возникли турбулентные вихри, начались ударные волны, гравитационные приливы, перемешивающие газы облака. В центральной части диска из-за быстрого коллапса зажглось Солнце, частицы пыли перемещались к центральной плоскости диска. Внешние слои диска теряли газ за счет его нагревания излучением молодого Солнца и потока ионизованной плазмы — солнечного ветра. Когда возрастающая плотность пылевых частиц в субдиске достигла некоторого критического значения, диск стал гравитационно неустойчивым и начал распадаться на отдельные сгущения пыли, причем чем выше была плотность в сгущении, тем оно быстрее увеличивалось в размерах.

Плотные сгустки размером с астероид, сталкиваясь, объединялись и, увеличиваясь в размерах, превращались в рой *планетезималей* размером до 1 км. Образование планетезималей заняло не более 1 млн лет, т. е. про-изошло, с точки зрения космических расстояний и времени, почти мгновенно.

Важнейшим этапом была аккреция собственно планет из роя планетезималей, занявшая уже гораздо больше времени и длившаяся около 1000 млн лет (*см. прил. 1*).

Происхождение Земли

Известно, что в настоящее время Земля состоит из ряда сферических оболочек (ядра, мантии, коры), т. е. Земля дифференцирована по свойствам и составу вещества. Гипотеза гомогенной аккреции полагает, что первоначальная Земля, сформировавшаяся сразу после аккреции из планетезималей, состоящих из никелистого железа и силикатов, была однородна и только потом подверглась дифференциации на железоникелевое ядро и силикатную мантию. Гипотеза гетерогенной аккреции заключается в том, что сначала аккумулировались наиболее тугоплавкие планетезимали, состоящие из железа и никеля, и только потом в аккрецию вступило силикатное

вещество. Процесс аккреции – столкновение планетезималей диаметром до 1000 км – сопровождался выделением большого количества энергии с сильным прогревом формирующейся планеты и ее дегазацией, т. е. выделением летучих компонентов, содержащихся в падавших планетезималях. Большая часть летучих веществ при этом безвозвратно терялась в межпланетном пространстве.

Ранняя Земля

Процесс внутренней дифференциации нашей планеты происходил всю ее геологическую историю, продолжается он и сейчас. Около 3,5-3,7 млрд лет назад у Земли были твердое внутреннее и жидкое внешнее ядро и мантия, т. е. планета уже была дифференцирована. Процесс расслоения, дифференциации недр происходил на всех планетах, но на Земле он продолжается и сейчас, обеспечивая существование жидкого ядра и конвекцию в мантии. Атмосфера и гидросфера Земли возникли в результате конденсации газов, выделявшихся на ранней стадии развития планеты. Этот процесс называется дегазацией.

Во время начальных стадий образования Земли все химические элементы, которые впоследствии вошли в состав гидросферы и атмосферы, находились в твердом веществе первичной Земли в связанном состоянии. Скорость дегазации воды из мантии в архее была относительно умеренной, несмотря на высокую тектоническую активность Земли в ту далекую эпоху. С максимальной скоростью дегазация воды из мантии происходила после выделения у Земли плотного ядра, т. е. в самом начале протерозоя около 2,5 млрд лет назад, и эта скорость достигала 1,5 км³/год. С тех пор скорость дегазации закономерно снижалась до современного уровня ≈ 0,26 км³/год.

В раннем архее средние глубины океанских впадин 50 м. Существовали лишь многочисленные изолированные между собой мелководные бассейны морского типа, над уровнями которых высоко воздымались гребни срединно-океанических хребтов и зоны торошения литосферных пластин, в центре которых тогда лишь зарождались ядра будущих континентальных массивов.

В позднем архее средние глубины океана возросли до 350–700 м, и уже тогда, по-видимому, на Земле впервые возникло единое зеркало водной поверхности Мирового океана. К концу архея (2,6 млрд лет назад) поверхность океана уже перекрывала гребни срединно-океанических хребтов слоем воды около 600 м. В то время на поверхности Земли уже образовался первый в ее истории суперконтинент Моногея, поэтому тогда же возник единый первоокеан – Моноталасса. Увеличение средних глубин Мирового океана продолжалось и в дальнейшем, достигнув к настоящему времени почти 4,5 км.

Протоатмосфера, формировавшаяся за счет дегазации мантии, состояла из H_2O , CO_2 , CH_4 , CO, H_2S , SO_2 , HCl, HBr, HF, Ar, H и целого ряда других газов и соединений, частично растворившихся в воде протоокеанских бассейнов.

Молодая Земля после своего образования была окружена разреженной атмосферой с малыми количествами благородных газов и азота. В течение всего архея парциальное давление двуокиси углерода было исключительно высоким. В раннем архее и начале позднего архея давление CO_2 закономерно возрастало и достигло своего пикового значения 2,8 млрд лет назад. В дальнейшем в течение всего протерозоя и фанерозоя давление диоксида углерода сохранялось на низком уровне, продолжая лишь плавно снижаться до современного значения.

В раннем докембрии парциальное давление кислорода было исключительно низким, но постепенно росло за счет фотолиза воды. Позднее к этому процессу подключилось влияние жизни. Появление свободного кислорода стимулировало эволюцию жизни. В истории ранней Земли существуют две важные точки (два репера), связанные с содержанием кислорода в атмосфере. Первая точка — это «точка Юри», т. е. такое содержание молекулярного кислорода, которое составляет 0,001 от современного уровня. При превышении этой точки возникли эукариоты, т. е. клетки с обособленным ядром, что случилось в среднем протерозое около 1,4 млрд лет назад.

Вторая реперная точка — «точка Пастера», соответствует содержанию O_2 0,01 от современного уровня. Превышение этой точки стало моментом появления многоклеточных организмов, что случилось около 680 млн лет назад. После достижения точки Пастера и появления первых многоклеточных животных дальнейшее накопление кислорода в земной атмосфере происходило очень быстро. В конце палеозоя содержание кислорода в атмосфере приблизилось к современному уровню.

Происхождение жизни

Планета Земля является уникальной планетой в обозримой Вселенной, поскольку на ней возникла и процветает органическая жизнь, и современный облик планеты во многом сформирован именно жизнью. Существует много теоретических точек зрения по поводу происхождения жизни на Земле, при этом равноправно рассматриваются концептуальные модели как земного, так и внеземного происхождения жизни. Но в любом случае современные данные свидетельствуют о том, что жизнь как таковая возникла около 3,8-3,6 млрд лет назад. Примерно 600 млн лет назад возникла жизнь того типа, с которой мы сейчас знакомы (см. прил. 3).

Процесс возникновения жизни проходил в несколько этапов. На первом этапе был синтез органических молекул из химических элементов при воздействии жесткого ультрафиолетового космического излучения в качестве источника энергии. При этом первые настоящие живые организмы вынуждены были прятаться в воде от избыточных ультрафиолетовых лучей, свободно достигавших земной поверхности в условиях бескислородной атмосферы.

Следующий шаг — объединение первичных молекул в более крупные частицы и их обособление в коацерватные капли. Коацерватные капли обособились с помощью полупроницаемых мембран, позволявших сохранять отличные от окружающей среды состав и энергетический уровень. Следующий этап — это возникновение механизма размножения и продолжения жизни, т. е. воспроизведение себе подобных с передачей им наследственной информации.

Первоначально живые клетки не имели ядра (прогеноты, прокариоты); позднее от них произошли клетки с более сложной организацией, имеющие ядро (эукариоты). Древнейшими организмами (~ 3.5 млрд лет назад) были представители прокариот – бактерии, а также цианобионты (рис. 3.1). Бактерии и цианобионты – важнейшие организмы докембрия, с их жизнедеятельностью связаны формирование кислородной атмосферы, общий круговорот углерода, накопление карбонатных и железорудных формаций, пирита, серы, фосфоритов и др.



Рис. 3.1. Распределение в докембрии важнейших палеонтологически документированных эволюционных событий, по (Амон, 2005)

К венду (670-680 млн лет) жизнь в море существовала повсеместно в достаточно высокоорганизованных формах. Эта биота была бесскелетной, поэтому плохо сохранилась. В начале кембрия многие группы животных приобрели способность выделять твердые раковины, панцири, скелеты и т. д., которые сохранялись в ископаемом состоянии гораздо лучше, чем мягкие ткани животных.

Докембрийский этап в развитии Земли

Архей и протерозой

Начало докембрия — примерно 4,0-4,2 млрд лет, окончание — около 570 млн лет. Докембрийский промежуток времени составляет ⁷/₈ истории Земли. В это время зародилась жизнь, радикально преобразовалась земная кора и заложились ее главные структуры, образовалась значительная часть (свыше 60 %) минеральных ресурсов. Однако изучен докембрий относительно слабо из-за сильной дислоцированности докембрийских пород и высокой степени их метаморфизма.

В докембрии выделяют две крупные временные единицы — архей и протерозой в ранге акротем (*см. прил. 4*). Архей и протерозой подразделяются на две эонотемы. Нижне- и верхнеархейская эонотемы не имеют более дробных подразделений, а нижний протерозой делится на две эратемы — нижнюю и верхнюю. В России их называют «нижний карелий» и «верхний карелий». Верхний протерозой подразделяется на рифей и венд. Ранг рифея не совсем ясен, а венд — это период (система). Рифей делится на три эратемы (эры) — нижнерифейскую, среднерифейскую и верхнерифейскую.

Главный вид метаморфизма в докембрии – региональный, происходящий при высоких температурах и давлении, при этом чем старше породы, тем сильнее они метаморфизованы. Древнейшие породы настолько сильно метаморфизованы, что часто весьма трудно или невозможно определить, за счет каких пород – осадочных или изверженных – они возникли.

Широко распространенные в докембрийских образованиях процессы метасоматоза, гранитизации привели к формированию мигматитов — своеобразных пород полосчатой текстуры, а то и к полной метасоматической переработке исходных пород и превращению их в граниты. Мигматиты и граниты слагают обширные гранитогнейсовые поля.

Другая отличительная особенность докембрийских пород — сильная их дислоцированность, наличие сложных складок. Среди докембрийских образований по характеру тектоники выделяют ряд структурных этажей, свидетельствующих о проявлении в докембрии ряда эпох складчатости.

Своеобразие условий в докембрии привело к формированию пород, характерных только для этого времени. Примером могут служить джеспилиты — железистые кварциты, состоящие из полосок, сложенных преимущественно кварцитом и гематитом (либо магнетитом); образовались они при участии микроорганизмов.

Жизнь зародилась в раннем архее и была первоначально представлена прокариотами — одноклеточными бактериями и цианобионтами. Цианобионты сыграли решающую роль в формировании кислородной атмосферы, поскольку содержание кислорода, продуцируемого чисто неорганическим путем, не может подняться выше точки Юри.

Фотосинтез содержащих хлорофилл цианобионтов примерно 3 млрд лет назад стал настолько распространенным, что содержание кислорода в атмосфере росло быстрее, чем его потери при окислении минералов земной коры. Таким образом, уровень Юри был превышен. Но такая атмосфера считается еще бескислородной. Кислородной атмосфера стала тогда, когда был превышен уровень точки Пастера, когда интенсивность органического фотосинтеза увеличилась до такой степени, что производство кислорода превысило его затраты не только на окисление минералов, но и на дыхание организмов.

Переход от первичной бескислородной к кислородной атмосфере произошел около 1,8-1,4 млрд лет назад. Приблизительно в это время (начало рифея) массовое развитие приобрели структурные биолиты (строматолиты), акритархи, фитопланктон. К среднему рифею (1,3 млрд лет) возникли первые грибы и водоросли. В начале позднего рифея (около 1 млрд лет) появились в весьма заметном количестве эукариоты — одно- и многоклеточные организмы, клетки которых содержат ядро. Вендский период — это время массового появления бесскелетных животных, своеобразной фауны эдиакарского типа.

В продолжение архея земная кора была повсеместно весьма подвижной и проницаемой. Четкая дифференциация на платформы и геосинклинали (подвижные пояса) отсутствовала. Лишь в конце раннего архея режим приблизился к геосинклинальному.

В конце раннего протерозоя произошло образование первых крупных стабильных блоков — эпикарельских платформ, которые получились при слиянии протоплатформ. В пределах этих территорий началось формирование типичного платформенного чехла.

Произошедшая в конце рифея и в венде байкальская складчатость привела к окончательной консолидации древних платформ (*puc. 3.2*). С докембрия существуют Северо-Американская, Восточно-Европейская, Сибирская, Китайская, Южно-Американская, Африкано-Аравийская, Индий-

ская, Австралийская, Антарктическая платформы. Последние пять южных платформ в палеозое составляли суперплатформу Гондвана.

Венд

Венд определен в ранге системы, и эта система подразделяется на два отдела: нижний и верхний. Для венда характерен первый в эволюции жизни максимум биоразнообразия, коснувшийся прокариот (бактерии, цианобионты) и эукариот (растения, животные, грибы). В венде начался третий важнейший этап развития органического мира — этап становления основных типов животного мира. Вендская флора и фауна отличались разнообразием и богатством форм. Отличительной особенностью животных вендских морей было отсутствие минерального скелета, панциря или раковины. Это были исключительно мягкотелые животные.

Рубеж рифея и венда является началом эпохи материковых оледенений, которые привели к глобальной регрессии. Следы последующего значительного потепления также имеют планетарное распространение. Причиной вендского материкового оледенения явилось произошедшее в конце рифея и начале венда кратковременное, но сильное снижение концентрации углекислого газа в атмосфере, уменьшившее парниковый эффект.

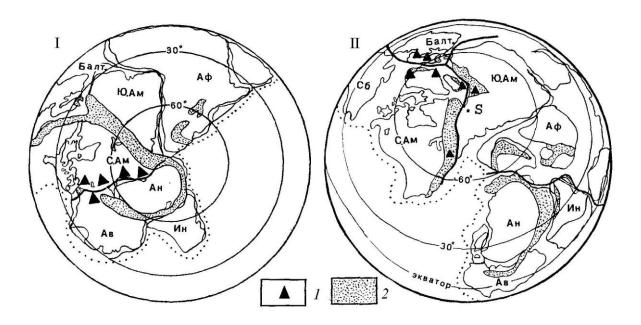


Рис. 3.2. Реконструкция положения материков в рифейское время: I – 750 млн лет назад; II – 600 млн лет назад. I – тиллиты; 2 – морские бассейны. Балт – Балтия; Ю. Ам. – Южная Америка; Аф – Африка; С.М. – Северная Америка; Ан – Антарктида; Сб – Сибирь; Ин – Индия; Ав – Австралия (по [Короновский и др., 2006])

Во второй половине вендского периода ландшафтно-климатические условия существенно изменились. Значительно повысилась температура

земной поверхности. В связи с таянием обширных ледниковых покровов уровень Мирового океана поднялся и началась обширная трансгрессия. Температура среды обитания строматолитов составляла 35-45 °C.

Фанерозой. Палеозойская, мезозойская и кайнозойская эры

Палеозойская эра

Палеозой начинает новый эон в истории Земли — фанерозой, объединяющий палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры. Палеозойская — наиболее продолжительная эра фанерозоя длительностью 284 млн лет. В ее состав входят шесть периодов (систем) — кембрийский, ордовикский, силурийский, девонский, каменноугольный и пермский (см. прил. 4).

Быстрое развитие сложноорганизованных животных с твердым скелетом является главным отличием палеозойской эры, от более раннего этапа развития жизни на Земле. Уже в отложениях конца кембрийского периода обнаруживаются представители всех основных типов беспозвоночных животных и даже примитивных хордовых.

К началу кембрия царство животных прошло значительный путь эволюционного развития. Именно в это время многие группы животных приобрели способность выделять твердые раковины, панцири и скелеты, которые сохраняются в ископаемом состоянии гораздо лучше, чем мягкие ткани животных. Вначале раковины были фосфатными, а затем появились еще более прочные известковые раковины моллюсков и брахиопод. Способность к скелетообразованию в начале кембрия была связана со снижением содержания CO_2 и с общим повышением содержания кислорода.

К началу палеозоя сформировались платформы, между платформами и по их окраинам располагались области Северо-Атлантического, Средиземноморского, Тихоокеанского и Урало-Монгольского геосинклинальных поясов.

Кембрийская система выделена в 1835 г. в Великобритании, ее продолжительность 45 млн лет. В составе кембрия три отдела: нижний, средний и верхний. В нижнем кембрии четыре яруса: томмотский, атдабанский, ботомский, тойонский; в среднем отделе два яруса: амгинский и майский; в верхнем кембрии четыре яруса: аюсокканский, сакский, аксайский, батырбайский.

Растительный мир кембрия представлен многочисленными разнообразными водорослями. Характерны акритархи. В кембрии найдены остатки беспозвоночных животных, которые приобрели способность строить прочный хитиново-фосфатный и известковый наружный или внутренний скелет. Наиболее распространенными были трилобиты и археоциаты. Они быстро эволюционировали, и стратиграфия кембрия основана на этих ископаемых.

К началу кембрия многие районы земной коры оказались приподнятыми над уровнем моря. Существовали древние платформы и подвижные геосинклинальные пояса. Складчатые области байкальской складчатости — байкалиды — занимали незначительные территории.

В Северном полушарии располагались Северо-Американская (Канадская), Восточно-Европейская (Русская), Сибирская, Китайская платформы; в Южном полушарии – суперматерик Гондвана. В раннем кембрии началась раннепалеозойская трансгрессия моря, широко проявившаяся на северных платформах.

После вендского похолодания и последующего потепления в начале кембрийского периода произошло дальнейшее потепление. Практически на всех континентах возникли условия, близкие к тропическим. Климат был засушливым.

Ордовикская система выделена в Великобритании в 1879 г., ее продолжительность 47 млн лет. Ордовик подразделяется на три отдела: нижний, средний и верхний. В нижнем отделе два яруса: тремадокский и аренигский; в среднем ордовике три яруса: лланвирнский, лландейловский и карадокский; верхний ордовик представлен одним ярусом – ашгиллским.

В ордовике жизнь стала разнообразнее. В растительном мире господствовали водоросли, в том числе зеленые. Большое значение для зональной стратиграфии ордовика имеют граптолиты и конодонты. Животный мир морей ордовика представлен беспозвоночными животными, а также бесчелюстными рыбообразными организмами (телодонтами). Особенно широкое распространение имели трилобиты, морские пузыри (цистоидеи), брахиоподы, головоногие моллюски, кораллы – ругозы (четырехлучевые) и табулятоморфы.

В ордовике существовали те же платформы и геосинклинальные пояса, что и в конце кембрийского периода. На протяжении ордовикского периода климат претерпевал существенные изменения. В раннем ордовике он был в целом теплым с некоторым преобладанием аридных условий, но в среднем ордовике усилилась гумидизация климата, а в позднем началась новая аридизация с одновременным понижением температур, возникновением в полярных районах ледниковых шапок и развитием обширного покровного оледенения.

Силурийская система выделена в Великобритании в 1835 г., ее продолжительность 25 млн лет. Силур подразделяют на два отдела: верхний и нижний. В нижнем силуре два яруса: лландоверийский и венлокский; верхний отдел представлен также двумя ярусами: лудловским и пржидольским.

В силурийском периоде продолжалось дальнейшее усложнение и совершенствование органического мира, особенно животного. Из растений в морях широко распространены водоросли, а прибрежные участки в позд-

нем силуре стали заселять высшие растения риниофиты. В морях силура важная роль принадлежала граптолитам, но к концу периода почти все граптолиты вымерли. Значительного расцвета достигли кораллы. Наступил расцвет замковых брахиопод.

Силурийский период — заключительный этап каледонской эпохи тектогенеза, когда возникли складчатые сооружения (каледониды). В начале силурийского периода после сравнительно небольшой ордовикской регрессии снова происходит трансгрессия моря, по своим масштабам почти равная ордовикской и почти в тех же районах. Во второй половине периода происходят обширные поднятия как в геосинклинальных поясах, так и на платформах.

В начале силурийского периода на континентах господствовали сравнительно прохладные условия. Позднее в течение силура тропические условия существовали на значительной части Северо-Американского, Восточно-Европейского и на юге Сибирского континентов.

Девонская система установлена в 1839 г. в Англии, ее продолжительность 58 млн лет. Девон подразделяют на три отдела: нижний, средний и верхний. Нижний девон содержит три яруса: локховский, пражский и эмсский; средний отдел подразделяют на два яруса: эйфельский и живетский; в верхнем девоне также два яруса: франский и фаменский.

Органический мир девонского периода богат и разнообразен. Значительного прогресса достигла наземная растительность. В конце девона на планете уже существовали леса, состоящие из риниофитов и папоротников.

В морях важное биостратиграфическое значение имеют конодонты. В девоне доживают граптолиты и цистоидеи; сокращается разнообразие форм трилобитов и наутилоидей. Распространены замковые брахиоподы, четырехлучевые кораллы, табуляты. Большее значение стали приобретать позвоночные. Широко распространены бесчелюстные и особенно рыбы: двоякодышащие, панцирные, кистеперые, хрящевые рыбы (акулы, скаты). С девона известны первые земноводные — стегоцефалы. Продолжалось освоение суши растениями и животными. Среди животных встречаются скорпионы и многоножки, а также бескрылые насекомые.

В течение девонского периода не происходит существенных изменений в распределении и очертании основных структурных элементов земной коры, созданных к началу девона (платформы, геосинклинальные пояса и каледониды). Это объясняется слабым развитием в девоне складчатых процессов, которые шли с небольшой интенсивностью. С середины девона во многих районах мира восходящие движения сменились погружениями, развивалась новая трансгрессия. Море наступало на платформы и проникало в пределы каледонид.

Климатическая зональность в девонском периоде была более четкой, чем в начале палеозоя. На всех материках в девоне существовал высокий температурный режим. По степени увлажненности выделяют аридные и гумидные пояса, разделенные зонами переменно-влажного климата.

Каменноугольная система (карбон) установлена в 1822 г., ее продолжительность 65 млн лет. Каменноугольную систему подразделяют на три отдела: нижний, средний и верхний. В нижнем карбоне три яруса: турнейский (турне), визейский (визе) и серпуховский; в среднем отделе два яруса: башкирский и московский; в верхнем карбоне два яруса: касимовский и гжельский.

В каменноугольном периоде широко развивается наземный растительный мир. Он представлен различными группами споровых растений: членистостебельными, плауновидными и папоротниками, голосеменными растениями, семенными папоротниками и кордаитами.

Для морей карбона характерно бурное развитие фораминифер; имели большое значение кораллы (ругозы, табуляты), брахиоподы, морские ежи, криноидеи, конодонты, головоногие моллюски (аммоноидеи, гониатиты и агониатиты). Обильными были двустворки и гастроподы. Двустворки и мельчайшие ракообразные остракоды заселяли не только моря, но и пресноводные бассейны.

Благоприятные климатические условия и пышная растительность обусловили обилие наземных членистоногих: пауков, скорпионов, тараканов, стрекоз. В морях карбона обитали многочисленные рыбы. Земноводные (стегоцефалы) населяли берега озер, заросли лесов.

В карбоне существовали континентальный блок Лавренция, Сибирская и Китайская платформы и суперплатформа Гондвана. После затишья в девоне земная кора была охвачена новой волной тектонических движений герцинской эпохи тектоногенеза (герцинская складчатость).

В раннем карбоне господствовал влажный тропический климат. В среднем и особенно в позднем карбоне климат сильно изменился. Самой характерной особенностью этого времени является прогрессивно развивавшееся похолодание, которое привело к возникновению в высоких широтах покровного оледенения.

Пермская система выделена в Пермской губернии в 1841 г., ее продолжительность 44 млн лет. Пермскую систему подразделяют на два отдела: нижний и верхний. В нижней перми четыре яруса: ассельский, сакмарский, артинский, кунгурский; в верхней перми – три: уфимский, казанский, татарский.

В пермском периоде органический мир приобрел своеобразные черты, хотя в самом начале периода он был во многом сходен с каменно-угольным. С середины перми характер наземной флоры меняется. Флора

поздней перми утрачивает типичный палеозойский облик и приобретает совершенно новые черты, характерные для мезозойской эры.

В пермских морях продолжали существовать те же группы беспозвоночных, что и в карбоне. Среди них господствовали фораминиферы, замковые брахиоподы, гониатиты, конодонты, двустворки, гастроподы и остракоды. Существенный прогресс наблюдается в развитии позвоночных, среди которых появляются новые формы рыб и земноводных. Развивается класс пресмыкающихся, представленный своеобразными древними группами звероподобных рептилий и котилозавров.

В конце пермского периода наблюдалось одно из крупнейших вымираний палеозойских организмов. Исчезли фузулиниды, четырехлучевые кораллы, табуляты, почти все палеозойские брахиоподы, гониатиты и наутилоидеи с прямой раковиной. Вымерли трилобиты, древнейшие морские ежи и древние лилии, многие палеозойские рыбы и позвоночные, а также целый ряд споровых растений.

В пермском периоде завершилась герцинская складчатость. Это сочеталось с общим поднятием платформ и огромной регрессией моря. Пермский период является резко выраженной геократической эпохой в жизни Земли. Естественным следствием горообразования и регрессии стало господство в поздней перми континентального, преимущественно засушливого климата, когда во многих районах началось формирование красноцветных и соленосных толщ.

Мезозойская эра

Мезозойскую эру подразделяют на три периода (системы): триасовый, юрский и меловой. Общая продолжительность эры около 186 млн лет.

Рубеж палеозойской и мезозойской эр характеризовался быстрым и масштабным вымиранием палеозойских организмов и возникновением новых форм растительного и животного мира. Мезозойские формы быстро эволюционировали.

Среди мезозойских организмов ведущая роль принадлежала головоногим моллюскам — аммонитам и белемнитам. Аммониты отличались исключительным разнообразием. Мезозой — эпоха рептилий, и мезозойские рептилии были самыми крупными в истории Земли. Они занимали сушу, водные ландшафты и воздушное пространство. В юрском периоде появились не только летающие ящеры (птерозавры), но и птицы. Начиная с триаса, среди морских позвоночных существовали костистые рыбы.

В раннем мезозое появились первые млекопитающие. Это были мелкие, размером с крысу, примитивные животные – пантотерии, сумчатые и первые плацентарные. Только после гибели крупных рептилий (динозав-

ров), начиная с палеогенового периода млекопитающие занимают главенствующее место среди животного мира.

Среди растительного мира в мезозое преобладала голосеменная растительность. На обширных территориях благодаря влажному и теплому климату росли леса, состоящие из хвойных, гинкговых, беннеттитовых и цикадовых пород. В середине мелового периода появились первые цветковые растения.

В конце мезозойской эры на рубеже мелового и палеогенового периодов органический мир претерпел весьма существенные изменения. Произошло «великое мезозойское вымирание».

Тектоническая жизнь планеты в мезозое была весьма оживленной. В самом начале мезозойской эры возникли крупные расколы земной коры. Существовали два крупных материковых блока — Лавразия и Гондвана, разделенные субширотным и протяженным экваториальным океаном Тетис.

Происходил распад Гондваны и Лавразии. Вдоль возникших крупных глубинных разломов, предопределивших контуры современных материков, образовались крупные глубокие и протяженные впадины — рифтовые зоны. Активная тектоническая жизнь оказывала влияние на распределение морских бассейнов и рельеф земной поверхности. Океаны глубоко проникали в платформенные области, и здесь возникали обширные эпиконтинентальные моря.

В течение мезозойской эры на Земле господствовал влажный и теплый климат, в полярных областях температурные условия были близки к субтропическим.

Триасовая система была выделена в 1831 г. на севере Западной Европы, ее продолжительность 50 млн лет. Триас подразделяют на три отдела: нижний, средний и верхний. В составе нижнего триаса два яруса: индский и оленекский; в среднем отделе два яруса: анизийский и ладинский; в верхнем триасе три яруса: карнийский, норийский, рэтский.

В триасовом периоде некоторое время существовали единичные, типичные для палеозоя группы. В морских бассейнах широкое развитие получили аммониты-цератиты, большого родового и видового разнообразия достигли в триасе двустворчатые и брюхоногие моллюски. Триас — последний период существования конодонтов, в конце рэтского века конодонты быстро и полностью вымирают. Просторы суши и мелководные пресные бассейны были населены рептилиями, число которых постепенно возрастало, а количество амфибий, в частности стегоцефалов, уменьшилось.

В триасе существовали две суперплатформы – Лавразия и Гондвана и разделявшие их геосинклинальные пояса: Тихоокеанский и Средиземноморский (Тетис). В целом триас – геократическая эпоха: в это время продолжалась регрессия, начавшаяся еще в позднем палеозое.

В триасе во многих районах мира возникают или оживляются ранее существовавшие разломы. Опускания блоков по этим разломам нередко приводили к образованию или возрождению рифтовых зон. По разломам активна вулканическая деятельность: изливаются основные эффузивы (базальты) и их туфы, образуя траппы.

Климат был теплым и жарким и зависел от степени увлажнения. В раннем и среднем триасе выделяют четыре природные области: экстрааридную, или область пустынь, умеренно-ариадную, или область сухих и опустыненных саванн, переменно-влажную и равномерно влажную. Преобладающими ландшафтами были лесные саванны с массивами относительно засухоустойчивой растительности. Климат позднего триаса характеризовался не только высокими среднегодовыми температурами, но и резко возросшей степенью испаряемости. В связи с этим произошло расширение пустынных и опустыненных ландшафтов.

Юрская система установлена в 1822 г. в Юрских горах Швейцарии и Франции, ее продолжительность 55 млн лет. Юрскую систему подразделяют на три отдела: нижний, средний и верхний. В составе нижней юры четыре яруса: геттангский, синемюрский, плинсбахский, тоарский; в среднем отделе тоже четыре яруса: ааленский, байосский, батский, келловейский; в верхней юре три яруса: оксфордский, кимериджский, титонский.

В юрском периоде архаичные формы палеозоя прекратили свое существование и органический мир принял типично мезозойский вид. В растительном мире господствовали различные группы голосеменных: хвойные, гинкговые, цикадовые, беннеттитовые, чекановскиевые. Вместе с ними распространены папоротники и хвощи.

Важнейшей группой среди беспозвоночных, населявшей юрские моря, были головоногие моллюски: аммоноидеи и белемниты, исключительно разнообразные и многочисленные.

Весьма характерным для юрского периода является исключительно широкое развитие пресмыкающихся. Они представлены огромным количеством разнообразных плавающих, бегающих, прыгающих и летающих форм. В юре обособляется новый класс позвоночных животных — птицы, предками которых были мелкие ящероподобные пресмыкающиеся.

В юре продолжают существовать две крупные платформы – Лавразия и Гондвана – и разделяющие их геосинклинальные пояса – Средиземноморский и Тихоокеанский (рис. 3.3). Юрский период по сравнению с триасовым называют талассократическим, т. е. с преобладанием моря над сушей. Для юры характерен ряд крупных трансгрессий моря на платформы.

В юре складчатые структуры возникают в Крыму, Копетдаге, на Кавказе, Памире, в Андах, однако в кайнозойскую эру они перерабатываются новыми складчатыми движениями.

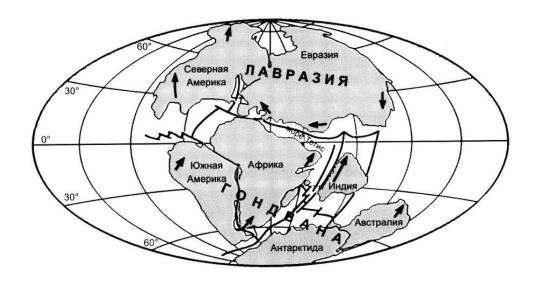


Рис. 3.3. Расположение и перемещение материков в юре, по (Подобина, Родыгин, 2000)

Раннеюрская эпоха являлась временем хорошо выраженной гумидизации климата. Это привело к широкому распространению сильно обводненных ландшафтов. После кратковременного понижения температур в конце норийского века произошло значительное повышение температур в ранней юре. Новый подъем температур произошел в байосском веке. Небольшие понижения температур происходили в келловее и самом конце юрского периода. По характеру температурного режима в течение позднеюрской эпохи выделяют экваториальный, тропические, субтропические и умеренные пояса.

Меловая система выделена в 1822 г. в Англо-Парижском бассейне, ее продолжительность 80 млн лет. Меловую систему подразделяют на два отдела: нижний и верхний. В составе нижнего отдела шесть ярусов: берриасский, валанжинский, готеривский, барремский, аптский, альбский; в составе верхнего мела также шесть ярусов: сеноманский, туронский, коньякский, сантонский, кампанский, маастрихтский.

Меловой период завершает мезозойскую эру, и его органический мир имеет черты, характерные для переходного этапа. Наиболее значительные изменения претерпевает растительный мир суши. С конца раннемеловой эпохи (с альба) появляются первые покрытосеменные цветковые растения. С позднего мела покрытосеменные составляют уже ведущий элемент наземной флоры. Было много насекомых, которые эволюционировали в тесной связи с растениями.

В морских бассейнах важнейшими группами являются головоногие, двустворчатые и брюхоногие моллюски, морские ежи, брахиоподы, губки, мшанки, шестилучевые кораллы, фораминиферы. В мире позвоночных животных в меловой период продолжается господство пресмыкающихся

(рептилий), давших много новых своеобразных форм. Все они доживают до конца маастрихта и затем навсегда исчезают. Для мелового периода характерно появление змей, которые, как и крокодилы, большое развитие получили в кайнозое. Значительный прогресс произошел в развитии птиц, среди которых появились высокоорганизованные и специализированные формы. Млекопитающие, появившиеся еще в начале мезозоя, все еще были мелкими и встречались довольно редко, но за меловой период они прошли сложный эволюционный путь, дав начало многим высокоорганизованным формам. В меловых отложениях известны остатки не только сумчатых, но и плацентарных, в частности насекомоядных млекопитающих.

В конце мела произошло великое вымирание. Резкие катастрофичные изменения в органическом мире выявлены на рубеже мезозоя и кайнозоя или на границе мела и палеогена (маастрихта и дания). Урон, понесенный органическим миром, был огромен. Эта катастрофа случилась в результате столкновения Земли с крупным внеземным телом и последующего за этим взрыва.

Кайнозойская эра

Кайнозойская эра — это новый этап геологической истории Земли. Кайнозойская эра делится на три периода: палеогеновый, неогеновый и четвертичный (квартер). Эра началась 65 млн лет назад и продолжается доныне. В кайнозое развился новый цикл геологических процессов, изменивший и усложнивший структуры земной коры и создавший современную физико-географическую обстановку.

В кайнозое сложился своеобразный органический мир, в котором млекопитающие играют ведущую роль. В конце эры появился человек, и его деятельность стала одним из факторов преобразования поверхности Земли.

Палеоген выделен в 1866 г., его продолжительность около 42 млн лет. Палеоген подразделяется на три отдела, имеющих собственные имена: палеоцен, эоцен, олигоцен, которые в свою очередь подразделяются на подотделы. В составе отделов разное количество ярусов: в палеоцене выделяют датский, зеландский и танетский ярусы; в эоцене — ипрский, лютетский, бартонский и приабонский; в олигоцене — рюпельский и хаттский.

Палеогеновый период открывает кайнозойскую эру, знаменует новый этап в развитии органического мира. Как уже говорилось, на рубеже мезозоя и кайнозоя вымерли многие морские и наземные животные, а сохранившиеся утратили свое значение. Место динозавров заняли бурно развивающиеся млекопитающие. Резкий толчок в развитии испытали покрытосеменные растения, которые стали доминировать особенно на суше.

Большое развитие получили фораминиферы, одноклеточные известковые водоросли кокколитофориды, радиолярии, диатомовые водоросли, кремневые жгутиковые, силикофлагелляты. Разнообразны и многочисленны губки. Многочисленны кораллы. Широко распространены мшанки, морские ежи, двустворчатые и брюхоногие моллюски, а также остракоды. В водных бассейнах обитали многочисленные рыбы, появились древние представители китов, сирены, дельфины. На континентах млекопитающие и птицы заняли господствующее положение.

В Северном полушарии в начале палеогена существовали два крупных материка, соединявшихся в районе Берингова пролива: Евразия и Северная Америка. В Южном полушарии существовало несколько материков, частей бывшей Гондваны: Африка, Индостан, Южная Америка. Полное отделение Антарктиды от Австралии и Южной Америки произошло во второй половине палеогена.

Материки разделялись Тихим, Атлантическим, Индийским и Северным Ледовитым океанами. Между северными и южными материками существовало море Тетис. Кратковременная регрессия конца мела сменилась в палеогене трансгрессией, которая достигла максимума в эоценовую эпоху. Это была последняя большая трансгрессия в истории Земли.

В течение палеогенового периода существовали климатические пояса: экваториальный, два тропических, два субтропических. Были высокие температуры вод и приземной части воздуха в экваториальном и тропическом поясах. В олигоцене наступило похолодание и возник умеренный и умеренно-холодный тип климата. Его роль с течением времени все возрастала.

Неоген выделен в 1853 г. в Западной Европе, его продолжительность около 21,2 млн лет. Неогеновая система подразделена на два отдела, имеющие свои собственные названия: миоцен и плиоцен. Они, в свою очередь, подразделяются на подотделы и ярусы, различающиеся в разных районах Тетической области. Стратиграфические подразделения Восточного Паратетиса применяются в России, а в Западной Европе применяются ярусы Западного Паратетиса (Средиземноморья). Эти ярусные шкалы с трудом сопоставляются друг с другом из-за существования эндемичных фаун в изолированных бассейнах.

Неогеновые растения и животные близки к современным, но географическое распределение их было другим.

Структуры земной коры и палеогеография. В начале неогена в Северном полушарии существовали две огромные по размерам и сложные по строению платформы: Евразия и Северо-Американская платформа.

В неогене не было значительных трансгрессий и моря охватывали только краевые участки платформ. В позднем миоцене новые поднятия и складкообразование в Альпах, на Карпатах, Балканах и в Закавказье при-

вели к полному отделению бассейнов юго-восточной Европы. Возникло громадное замкнутое Сарматское море-озеро, которое протягивалось от Венгрии на западе через Молдавию и юг Украины, вдоль Предкавказья до Аральского моря, охватывая и области современных Черного и Каспийского морей. После понтического века море юга Европы окончательно разделилось на ряд изолированных бассейнов — Средиземное, Черное, Каспийское моря, которые то сокращались до размеров меньше современных, то расширяли свои пределы.

В неогене возрастает роль континентальных обстановок, что отразилась на климатических условиях. На фоне непрерывного понижения температур усиливается континентальность климата и все сильнее становятся сезонные контрасты температур.

В течение миоцена температуры менялись. Сначала было тепло, и климатический оптимум отмечается до среднего миоцена, но позднее температуры снизились. Похолодание, происшедшее в миоцене, в первую очередь охватило полярные и умеренные широты. Оно выразилось в сильном разрастании ледникового покрова в Антарктиде и в возникновении горных ледников в Северном полушарии.

Четвертичная система (квартер, антропоген) выделена в Северной Италии в 1829 г. От более древних четвертичный период отличается рядом особенностей.

Во-первых, необычайно малой длительностью — 1,8 млн лет — по сравнению с более древними, что связано с его незавершенностью. Вовторых, присутствием в отложениях четвертичной системы остатков человека и его культуры. В-третьих, резкими и многократными изменениями климата, а значит, и природных условий в целом, а также особенностей денудации и осадконакопления. В-четвертых, осадочным образованиям четвертичного возраста свойственны сложное строение разреза, пестрота фаций и быстрая изменчивость литологического состава, относительная кратковременность формирования и небольшая мощность при сравнительно высокой скорости осадконакопления.

В России квартер делится на два надраздела (отдела): плейстоцен и голоцен. Голоцен начался 10 000 тыс. лет тому назад и длится по сей день. Плейстоцен подразделяют на два раздела (подотдела): эоплейстоцен и неоплейстоцен. Эти разделы подразделяются на звенья — в эоплейстоцене два звена, в неоплейстоцене — три. Верхнее звено неоплейстоцена подразделяют на четыре ступени. В Европе (Альпы) звеньям соответствуют эпохи оледенений или стадиалов, при этом звено начинается с интерстадиала (межледниковья). Нижнему звену эоплейстоцена соответствует дунайский стадиал, верхнему — гюнцский. Нижнему звену неоплейстоцена соответствует миндельский стадиал, среднему — рисский, верхнему — вюрмский. Та-

ким образом в плейстоцене выделяют пять эпох оледенений, разделенных межледниковьями, а голоцен, т. е. современность, представляет собой эпоху межледниковья.

Животный и растительный мир четвертичного периода близок к современному. Изменения, которые происходили в мире животных и растений, были связаны с чередующимися похолоданиями и потеплениями. Характерной особенностью развития флоры в течение плейстоцена было неоднократное ее изменение и приспособление к похолоданиям в умеренных и субтропических широтах.

В животном мире заметные изменения происходили в составе млекопитающих, в результате многократных смен похолоданий и потеплений вымерли многие теплолюбивые животные и появились приспособленные к жизни в суровых условиях. Особенно усилился процесс вымирания в эпоху максимального — днепровского (рисского) — оледенения, произошедшего на территории Восточно-Европейской платформы.

В течение четвертичного периода обширное материковое оледенение периодически охватывало Северное полушарие. Центрами оледенений были Балтийский и Канадский щиты, которые полностью перекрывались почти трехкилометровой толщей льда. Гигантский ледниковый купол, покрывавший высокие и средние широты, вобрал в себя огромный объем воды морей и океанов, что привело к резкому понижению уровня Мирового океана. Наиболее сильная регрессия произошла во время максимального оледенения (ранний рисс = днепровское), когда осушались огромные площади шельфов.

После последнего оледенения, максимум которого пришелся на время в 20 тыс. лет назад, наступило потепление. В течение нескольких тысячелетий ледниковый покров в Европе распался. Его остатки в Скандинавии полностью исчезли около 10 тыс. лет назад.

Наиболее важное событие четвертичного периода – стремительное развитие человека и человечества.

Литература

Амон Э. О. Введение в историческую геологию: Учебник. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 511 с.

Короновский Н. В., Хаин В. Е., Ясаманов Н. А. Историческая геология: Учебник. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 464 с.

Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 560 с.

4. ЛИТОЛОГИЯ

Общие сведения

Литология (от греч. lithos – камень) – наука об осадочных породах, имеющих исключительно важное значение для познания геологической истории развития Земли и являющихся основным источником минеральных ресурсов. Несмотря на то, что осадочные породы занимают лишь около 5 % общего объема стратисферы, они тонким (1:3 000 сравнительно с радиусом Земли) слоем средней мощностью примерно 2,2 км покрывают большую часть поверхности геоида, на континентах занимая примерно 75 % территории. При этом средняя мощность осадочного чехла континентов составляет 4,2 км, колеблясь в диапазоне от 0 (щиты) до 20 - 30 км и возможно более (рифтовые и рифтоподобные впадины). Меньшими значениями, естественно, характеризуются платформы (плиты) - в среднем 1,3 км, большими – геосинклинали (складчатые зоны) - 9,7 км. В океанах средняя мощность осадочной толщи составляет в среднем 300 м и может возрастать в отдельных участках плит до 1 - 2(3) км, а в зонах сочленения океанов с континентами – до 15-16 км, а возможно и более.

Учение об осадочных породах (литология) существенно шире, чем собственно петрография осадочных пород, которая является его составной частью ($puc.\ 4.1$). В отечественной литологии принято выделять два крупных уровня: седиментологический и собственно литологический ($cm.\ puc.\ 4.1$).

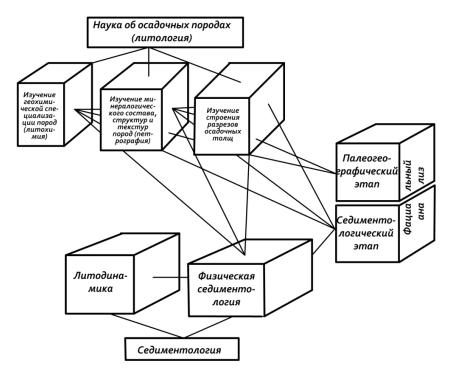


Рис. 4.1. Общая структура литологии, по (Романовский, 1977)

Происхождение и состав осадочных горных пород

В достаточно схематизированном виде взаимосвязь геологических процессов, образующих единую *систему*, показана на рис. 4.2. На нем показан весь цикл формирования пород, где "по кругу" происходят преобразования главных компонентов, а внутри него — внутренние зависимости между элементами системы. Тем самым геологическая история формирования земной коры тесно связана с многократным рециклированием осадочных пород (по А. Ноfmann *рециклинг* — вовлечение океанической или континентальной коры или литосферы в мантию с помощью субдукции; сохранение в мантии и новое появление в продуктах вулканизма: wiki.veb.ru).

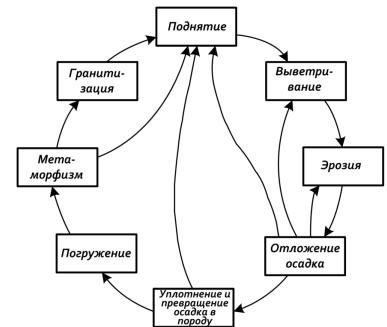


Рис. 4.2. Упрощенная диаграмма цикла формирования пород, показывающая основные процессы, определяющие преобразование пород земной коры, по (Харбух и Бонэм-Картер, 1974)

Состав осадочных горных пород представлен в табл. 4.1. При их высоком разнообразии основным распространением (не включая вулканические отложения) пользуются алевропелиты (около 50 %), песчаники (25 %) и карбонаты (около 20 %). Среди основных видов *горючих полезных ископаемых* угли или каустобиолиты (от греч. kaustos — горючий, bios — жизнь, lithos — камень) относятся к органогенным (*см. табл. 4.1*), а находящиеся в жидкой (нефть) и газообразной фазах по сути являются ксеногенными по отношению к вмещающим их породам.

Мобилизация, транспортировка и осаждение вещества

Мобилизация вещества, являющегося исходным продуктом для транспортировки, осаждения и преобразования осадков, является разновременным по длительности процессом, протекающим под воздействием ряда факторов.

Таблица 4.1 Основные составные части (компоненты) осадочных горных пород

По месту образования (относительно источни- ка материала)	По механиз	Примеры пород	
Ксеногенные (от греч. хе- nos – чужой): наложенные	Вулканогенные		Туфы, туффиты
Аллотигенные (от греч. allos – иной, другой): перенесенные извне, как правило, в результате механической дифференциации	Обломочные: кла- столиты (от англ. clast - обломок) и глинистые или пе- литовые: (от греч. pelos – глина)	Терригенные, образованные на суше (от лат. terra – земля) Эдафогенные, образованные на дне океана (от греч. edaphos – почва)	Песчаники, алевролиты, аргиллиты
Аутигенные (от греч. autos – сам): образовав-шиеся на месте либо при	Хемогенные (седиментационные и постгенетические)		Соли, метасоматические доло- миты
химической дифферен- циации	Органогенные		Угли, биогенные известняки

Основными являются три: рельеф (морфотектоника), климат и состав исходных пород (петрофонд); дополнительными (и нередко переходящими в разряд основных) — биологические (биохимические), вулканизм и состав атмосферы.

Для характеристики областей, в которых мобилизуется материал, целесообразно использовать термин "гипергенез", по первоначальному определению А. Е. Ферсмана (1955), представляющий «... комплекс физических и физико-химических явлений, которые протекают на границе между атмосферой и твердой горной оболочкой». Следует иметь в виду, что процесс гипергенеза занимает особое положение в цикле формирования осадочных пород, выступая как в качестве инициального этапа осадкообразования, так и завершающего его («поднятие»—«выветривание» на рис. 4.2).

В отношении собственно гипергенеза ведущий специалист в области его изучения Б. М. Михайлов справедливо отмечает, что в настоящее время мы, как правило, имеем дело с результатами воздействия на породы различных процессов, реставрация которых чрезвычайно сложна и обычно многозначна. В основу типизации продуктов гипергенеза им предложено положить следующие его обстановки.

1. Поверхностный (континентальный) гипергенез как комплекс процессов и явлений, происходящих непосредственно на поверхности суши и распространяющихся вглубь с гравитационными водами.

- 2. Подводный гипергенез как комплекс процессов и явлений, происходящих на дне океанов и морей при взаимодействии морской воды непосредственно с коренным субстратом (гальмиролиз).
- 3. Подземный гипергенез как комплекс процессов и явлений, происходящих в зоне гипергенеза под воздействием вод, либо движущихся по водоносным горизонтам, либо восходящих по разломам и зонам трещиноватости (артезианские и элизионные воды).

Перенос и перераспределение (дифференциация) мобилизованного вещества осуществляются в гравитационном поле Земли и реализуются в двух основных видах: 1) собственно гравитационным перемещением и 2) за счет кинетической энергии среды: жидкой (гидросфера), газообразной или воздушной (атмосфера) или вязко-пластичной (ледники), а также при их сочетании.

Отчетливо выделяют две ведущие формы переноса: в растворах и в терригенной форме. Глобальным итогом транспортировки является перенос материала с континентов или их частей в конечные водоемы стока (озера, лагуны, моря). При этом общее соотношение переносимых продуктов в системе континент — океан для растворимой и нерастворимой форм оценивается как 1:4 (Гаррелс, Маккензи, 1974).

Материал, переносимый в виде коллоидных или истинных растворов, переходит в устойчивую фазу благодаря воздействию физикохимических и биологических процессов, содействующих отложению.

Общая схема *химической* осадочной дифференциации вещества, развивающая схему В. М. Гольдшмидта (1931), предложена Л. В. Пустоваловым (рис. 4.3).

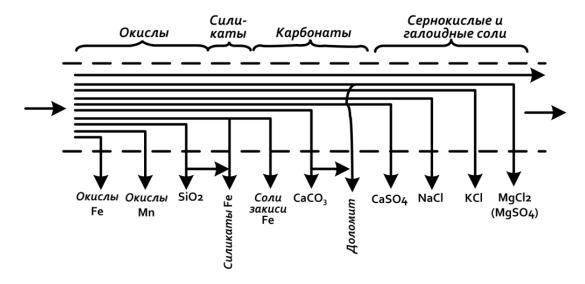


Рис. 4.3. Схема химической осадочной дифференциации вещества, по (Пустовалов, 1940)

Терригенный материал переносится в двух основных видах: взвеси (не соприкасаясь с дном) и придонного перемещения. Для последнего характерны формы волочения, качения и сальтации (от итал. salto – прыжок, скачок), что показано на рис. 4.4.

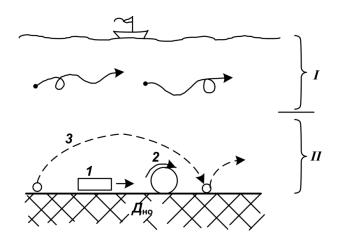


Рис. 4.4. Перемещение материала механическим путем:

I – во взвеси; II – в придонной зоне
(1 – волочением, 2 – качением, 3 – сальтацией)

В процессе транспортировки происходит дифференциация материала по размерам частиц, их весу, форме. Общая схема *механической* дифференциации предложена Л. В. Пустоваловым (рис. 4.5). Им же указано, что поскольку «... в природе механическая дифференциация осуществляется в результате разных причин..., то в каждом отдельном случае схема дифференциации может значительно изменяться».

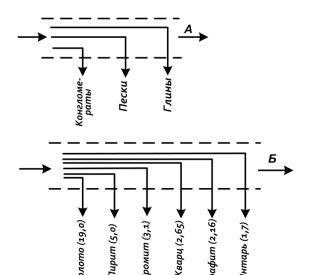


Рис. 4.5. Схема механической осадочной дифференциации по крупности частиц (A) и удельному весу, при равной величине (Б). По (Пустовалов, 1940)

При перемещении водой зернистого материала образуются разные донные формы. На рис. 4.6 изображены основные формы ложа осадкона-копления в их взаимосвязи с размерами зерен и энергией потока $V\tau_0$, при напряжении сдвига $\tau_0 = \gamma \mathcal{I} S$, где γ – плотность жидкости и осадка, \mathcal{I} – глубина потока, S – наклон градиента энергии.

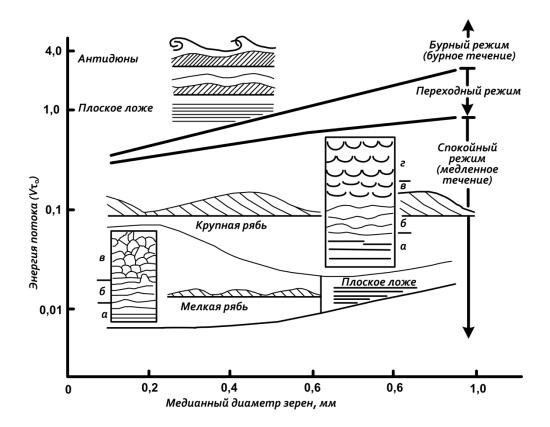


Рис. 4.6. Схематическое изображение различных форм ложа и их зависимости от размера зерен осадка и энергии потока. По данным Д. Симонса и др. (Simons e. a., 1965) и Дж.Аллена (Allen, 1968). Из Г. Рейнека и И. Сингха, 1981:

a — рябь с прямолинейными гребнями; δ — волнистая рябь; ϵ — лингоидная рябь; ϵ — луноподобная рябь. Гребни мелкой и крупной ряби становятся прерывистыми с увеличением энергии потока

Процесс собственно *осадконакопления* регулируется двумя ведущими факторами, которыми являются рельеф поверхности, формирующийся в общем плане в результате тектонических движений, и климат. При этом главным условием служит наличие некоторого исходно неравновесного состояния между приносом материала в некоторую область и возможностью его осаждения в ней, то есть перевод системы в состояние гравитационной стабильности (*см. рис. 4.3*).

Н. М. Страховым в 1956 г. выделены и наиболее детально в 1960-1962 гг. в капитальном труде, удостоенном Ленинской премии, охарактеризованы четыре *типа литогенеза* — гумидный, аридный, ледовый (нивальный) и вулканогенно-осадочный. Под типами литогенеза при этом понимались крупные естественные комплексы условий и процессов, определяющие формирование определенных типов осадков, прежде всего климатических.

Гумидным называется породообразование в климатах, отличающихся преобладанием метеорных осадков над испарением и с температурами,

разрешающими существование воды в жидкой фазе, по крайней мере в течение теплой части года. Специфическую особенность физикогеографической обстановки аридных зон составляет сочетание повышенных температур с отрицательным балансом влаги, т. е. преобладанием испарений над массой атмосферных осадков. Ледовым называется такой тип климата на континентальных площадях, который обеспечивает геологически длительное существование на данной территории ледового покрова большей или меньшей мощности.

Климатические типы осадочного породообразования, занимают в совокупности всю площадь континентов. Кроме них выделяется *интразональный* эффузивно-осадочный тип, "вкрапленный" в площади климатических типов. Им определяется породообразование на площадях вулканических извержений и в их окрестностях, находящихся под исключительным или определяющим влиянием эффузивного процесса.

При оценке *скоростей* осадконакопления следует иметь в виду, что длительности перерывов в накоплении осадков - как глобальных по отношению той или иной площади, так и локальных, внутри нее, по времени значительно превышают собственно периоды седиментации.

В целях унификации рекомендуется использовать единицу Б (1 *бубнов* = 1 мм/1 000 лет или 1 м/млн лет), названную по имени немецкого геолога русского происхождения С. Н. Бубнова, много занимавшегося оценкой скоростей седиментации.

Общая формула, по которой следует оценивать скорости осадконакопления, представляется в виде

$$v = \frac{H}{(T - T^*)pk'}$$

где k — коэффициент, учитывающий сокращение первоначальных мощностей слоев, это своего рода осредненная мера уплотнения осадочной толщи; H — максимальная мощность отложений в границах выделенного стратиграфического подразделения; T — продолжительность этого подразделения; T^* — суммарное время перерывов в осадконакоплении; p — мера, учитывающая интенсивность межслоевых размывов в процессе формирования слоистой толщи.

А. П. Лисицыным (1982) введено понятие *павинной седиментации* (ЛС): процесса очень быстрого, лавинного накопления осадочного материала на дне водоема. Он имеет важное тектоническое следствие: *изостатическое* прогибание коры под влиянием огромных нагрузок с возникновением линзообразных образований, имеющих депоцентр, отвечающий главной области осаждения материала. В качестве граничного значения для выделения областей ЛС предложены скорости более 100 Б. А. П. Лисицыным выделены три уровня лавинной седиментации: I – устья рек (50-

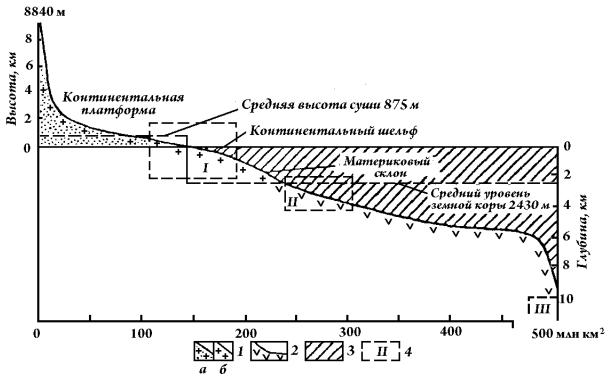


Рис. 4.7. Гипсографическая кривая Земли, по (Лисицын, 1984): I – континентальная кора выше (a) и ниже (δ) уровня океана; 2 – кора океанического типа; 3 – вода; 4 – глобальный уровень лавинной седиментации

 $70\,\%$ отложившегося материала взвешенного речного стока на площади $2\,\%$ от поверхности Земли); II — основание континентального (материкового) склона ($20\text{-}40\,\%$) и III — глубоководные впадины ($7\text{-}8\,\%$ стока). Эти уровни показаны на рис. 4.7.

Классификация осадочных пород и их распространение

Удивительная схожесть среднего состава магматических и осадочных пород (maбn. 4.2) подтверждает представления о механизме рециклинга (см. п. 2). Основные их отличия заключаются в следующем: осадочные породы обеднены Na_2O за счет нахождения Na в океанической воде и, наоборот, обогащены CO_2 и H_2O , извлекаемых из атмосферы и гидросферы.

Совершенно иная картина наблюдается при сравнении минерального состава магматических и осадочных пород. Породообразующие минералы можно разделить на четыре группы.

- 1. Минералы, которые в заметных количествах встречаются только в магматических породах, это минералы сложного состава, образовавшиеся в наиболее глубоких зонах земной коры и потому наиболее неустойчивые в условиях земной поверхности (оливин, роговая обманка, авгит, анортит).
- 2. Минералы переходные, встречающиеся как в магматических, так и в осадочных породах, но резко преобладающие в первых. Это магматические

минералы, кристаллизовавшиеся, вероятно, на меньших глубинах из более холодных расплавов и потому более устойчивые в поверхностных условиях: магнетит, альбит, ортоклаз.

Таблица 4.2 **Химические анализы «средних пород», вес. %,** по (Гаррелс, Маккензи, 1974)

Окислы	Средняя магматическая порода	Средняя осадочная порода		
SiO_2	63,5	59,7		
Al_2O3	15,9	14,6		
Fe_2O_3	2,9	3,5		
FeO	3,3	2,6		
MgO	2,9	2,6		
CaO	4,9	4,8		
Na ₂ O	3,3	0,9		
K_2O	33	3,2		
CO_2	-	4,7		
$H_2O(110 {}^{\circ}C)$	-	3,4		

- 3. Минералы переходные, образующиеся частично и из расплавов, но резко преобладающие в поверхностной среде, где они не только сохраняются, но и создаются в большом количестве. К ним относятся кварц и большая часть слюд различного состава.
- 4. Минералы, представляющие собой чисто осадочные новообразования, отсутствующие в магматических породах. Эти минералы отличаются в значительной части простотой состава, являясь простыми солями, окислами и гидратами окислов: основная часть карбонатов, гипс, ангидрит, фосфаты, а также органическое вещество. Как и сами осадочные породы, главную массу которых они слагают, они образовались в результате разложения, окисления и гидратации магматических пород. Это своего рода "плесень" или "ржавчина", покрывшая тонкой пленкой кору магматических пород (см. п. 1).

Приведенные данные по минеральному составу осадочных пород свидетельствуют о необходимости принципиально иного подхода к их систематике и классификации, нежели к породам магматического происхождения.

Традиционные, *одномерные* классификации представляют собой попытки объединить объективно наблюдаемые признаки (состав пород, соотношение элементов) с генетическим подходом, базирующимся на представлениях о последовательности формирования отложений. Такой вид имеют классификации, длительное время применявшиеся и продолжающие применяться в практике работ (*табл. 4.3*).

Таблица 4.3 Принципиальная схема подразделения осадочных пород по их составу (Кузнецов, 2007)

Тип пород	Примеры пород		
1. Кварцевые и кварц-	Вулканогенно-осадочные породы		
силикатные	Песчаники Кварцевые		
	Олигомиктовые		
	Полимиктовые		
	Глины Каолинитовые		
	Гидрослюдистые		
	Монтмориллонитовые		
	Полиминеральные		
2. Оксидные и гидроксидные.			
Опаловые, халцедоновые	Трепелы, опоки, диатомиты, кремни		
Лимонитовые (феррито-	Бурые железняки		
литы)			
Аллитовые	Бокситы		
Манганолиты	Пиролюзитовые и псиломелановые руды		
3. Карбонатные.			
Кальцитовые	Известняки		
Доломитовые	Доломиты		
Сидеритовые	Сидериты		
Магнезитовые	Магнезиты		
4. Сульфатные .			
Гипсовые	Гипсы		
Ангидритовые	Ангидриты		
5. Галогенные (галоидные).			
Галитовые	Каменная соль		
Галит-сильвиновые	Сильвинит		
Галит-карналлитовые	Карналлитовая порода		
6. Фосфатные	Фосфориты		
7. Каустобиолиты	Каменный уголь		
	Антраксолиты		
	Нефть		

В то же время достаточно очевидна «тупиковость» одномерных классификаций для осадочных пород, формировавшихся принципиально различными путями. В этом плане существенно предпочтительнее выглядят сформулированные еще 70 лет назад представления Л. В. Пустовалова о соотношении наблюдаемых пород в "двумерном" варианте (рис. 4.8), с векторными направлениями относительно механической и химической дифференциации вещества.

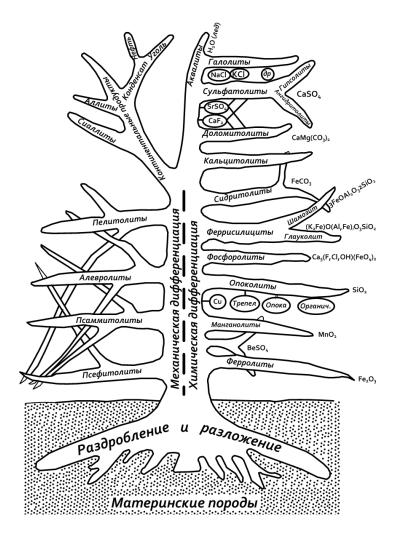


Рис. 4.8. Схема развития процесса осадконакопления в пределах одного большого периода, по (Пустовалов, 1940)

При всем многообразии осадочных пород многочисленными расчетами, проведенными разными авторами, получено, что их подавляющая часть (95 % и более) представлена всего лишь *тремя* типами: песчаниками, глинистыми породами и известняками (см. табл. 4.1). Их соотношение выглядит примерно следующим образом, %:

Песчаники	15-40	в среднем около 25
Глинистые породы	40-60	50
Известняки	15-30	20

Кластолиты (обломочные породы)

Кластолиты или терригенные породы являются продуктом первичного разрушения исходных образований посредством физического и (или) химического выветривания. При транспортировке материала, преимущест-

венно под воздействием силы тяжести и в водной среде, происходит его дифференциация механического характера. Результатом сложного процесса, который часто не поддается расшифровке ввиду отсутствия признаков промежуточных этапов, являются непосредственно наблюдаемые или закрепленные в геологической летописи осадочные горные породы.

Размерность частиц, слагающих породу, и соотношение выделенных фракций — ведущие параметры, характеризующие терригенные отложения. В значительной степени это определяется и подкрепляется возможностью количественно охарактеризовать данные признаки — физическими методами, микроскопическим изучением, снятием параметров с электрокаротажных кривых и др.

В то же время в мировой практике наиболее употребительна логарифмическая шкала У. Аддена – С. К. Уэнтворта – У. Крамбейна, часто называемая Φ -шкалой Крамбейна. Размер частиц в единицах Φ (фи) и миллиметрах показан в табл. 4.4.

Таблица 4.4 Типы пород по их гранулометрической размерности

	Линейн змер ча <i>S</i> , мм	стиц	Шкала ф («фи») Ф= -log ₂ S	»)		Названия в английской ли- тературе		Рекомен- дуемые обозначе- ния	Преобладающий способ перемещения частиц (см. рис. 4.4)	
	2	2,00	-1	Гравий, гравелит		Granule	Gravel	0	Волоче- нием, качением	
1,0	1	1,00	0	🛓 грубозернистый		истый	Very coars	se	0000	Сальта-
	1/2	0,50	1	Пески, песча- ники	крупнозернистый среднезернистый мелкозернистый тонкозернистый		Coarse	75		
	1/4	0,25	2	1, П ИК			Medium	Sand		
	1/8	0,125	3	CKV H			Fine			
0,1	1/16	0,0625	4	Пе			Very fine			
	1/32	0,0312	5	-ИІ	крупнозернистый		Coarse			
	1/64	0,0156	6	алевроли- л	средне- зернистый	визуально трудно	Medium		· — ·	Во взве-
0,01	1/128	0,0078			мелко- зернистый	различимы: описыва-	Fine	Silt	· — ·	шенном состоянии
	1/256	0,0039	8	Алевриты, т	тонко- зернистый	ются как мелко- зернистый	Very fine		- · - ·	пинкогоо
		•••		Глина, аргиллит		Cla	у		Коллоид- ная сус- пензия	

Весьма важно, что данная шкала удачно отвечает *природному* распределению частиц, в соответствии с механизмом их переноса, с повторяющимся бинарным дроблением.

Отнесение породы к тому или иному классу размерности производится по преобладанию основной фракции (50 % и более от объема породы). Из этого, в частности, следует, что присутствие галек и линз любого состава при наличии *однородного* основного состава породы, или матрикса, следует описывать как наличие *включений*, указывая их объем в процентах.

Естественность или «природность» границ в Ф-шкале подчеркивается различиями в механизме переноса частиц.

- 1) 2,0 мм: граница между песками и гравием, обусловленная механизмом переноса (перемещение по дну \leftrightarrow сальтация: см. рис. 4.4) и подчеркнутая *дефицитом* 1,4-4 мм, связанным с разрушением обломков пород (более крупные фракции почти не содержат минералов);
- 2) 0,05 или 0,0625 мм: граница между классами алевритовых и песчаных пород, обусловленная механизмом их переноса (взвесь сальтация, см. рис. 4.4) и подчеркнутая первым *дефицитом* фракций 0,03-0,06 мм, характерным для разрушения минералов;
- 3) 0,004 или 0,005 мм: граница между пылеватыми (глинистыми) и алевритовыми частицами в осаждении более мелких частиц сильно развиты процессы коагуляции.

Различия в механизмах переноса материала, как правило, достаточно хорошо проявляются при выполнении гранулометрического анализа (*puc. 4.9*).

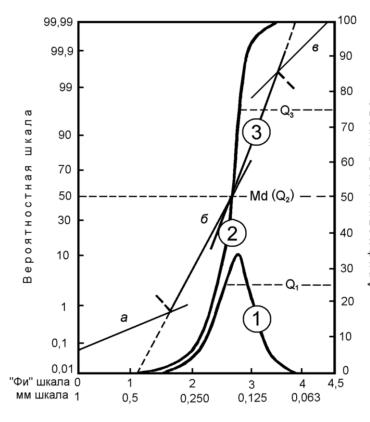


Рис. 4.9. Наиболее распространенные типы кривых распределения фракций, по Дж. Вишеру (Visher, 1969), с дополнениями:

- кривые: *1* частотная, *2* с кумулятивная (наносятся по арифметической шкале, 3 логы вероятностная (наносится по вероятностной шкале);
- отрезки логвероятностной кривой, соответствующие популяциям: a волочения, δ сальтации, ϵ суспензии (взвеси); квартили: $Q_1 = 25$ %, $Q_2 = 50$ % (медиана), $Q_3 = 75$ %

По составу наиболее распространенных и значимых в практическим плане песчаников обычно выделяют три семейства (*puc. 4.10*): мономиктовые (один минерал или группа составляет 90 % и более); олигомиктовые (75-90 %) и полимиктовые (где содержание ни одного минерала или группы не превышает 75 %).

- Аркозы (Броньян, 1823) продукты разрушения гранитоидов, близкие к ним по составу (кварц, полевые шпаты, глинисто-слюдистый цемент, отчасти обломки пород).
- Граувакки (от нем. Grau серый; Wacke порода) песчаники с определяющим количеством обломков пород, чаще эффузивов основного и среднего состава.



Рис. 4.10. Классификация песчано-алевритовых пород по их минеральнопетрографическому составу, по (Шванов, 1987). Стрелками показаны направления «созревания» обломочного материала в зоне седиментогенеза

Глины и глинистые породы (пелитолиты)

 ${\rm K}$ «чистым» глинам следует относить осадки, сложенные частицами размером менее 0,002 мм или $^{1}/_{256}$ мм (*см. табл. 4.4*) не менее чем на 50 %. Однако в природе условия для формирования таких отложений встречаются весьма редко, и значительная роль в формировании наиболее тонкозернистых пород практически всегда принадлежит и частицам алевритовой размерности (от $^{1}/_{16}$ до $^{1}/_{256}$ мм). Поэтому к нечеткому понятию "глинистые сланцы" нередко относят как глины, так и алевриты, по меньшей мере —

наиболее тонкозернистые (менее $^{1}/_{128}$ или 0,004 мм). Мы считаем, что такие породы вполне можно называть алевроаргиллитами.

В настоящее время единой классификации глинистых минералов нет, но их разделение на основные группы общепринято. По характеру чередования тетра- и октаэдрических сеток выделяют следующие группы.

- 1. Группа каолинита, состоящая из двухэтажного (1:1) чередования октаэдрического и тетраэдрического слоев. Структурная формула $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$. Мономинеральные каолинитовые глины (каолины) встречаются довольно редко и являются объектом промышленной разработки. Своеобразным типом каолинитовых глин являются *тиниейны* (от нем. ton глина, stein камень). Тончайшие прослои этих первично пепловых прослоев используются в ряде районов для стратиграфической корреляции.
- 2. Группа монтмориллонита (смектитов) с трехэтажной кристаллической решеткой (2:1), в которой октаэдрический алюминиевый слой расположен между кремнекислородными тетраэдрическими слоями. Формула идеализированного смектита (без учета изоморфных замещений) $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$.

Смектитовые глины являются хорошим сорбентом, обладая способностью поглощать многие вещества, а также образовывать структурированные суспензии (бентонитовые глины).

- 3. Группа гидрослюд (иллитов) по структуре сходна со смектитами и представлена глинистыми минералами, являющимися гидративными аналогами мусковита: $KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$. К этой же группе относится и глауконит, для которого характерно замещение в октаэдрах Al^{3+} на Fe^{3+} , Fe^{2+} и Mg^{2+} . Имея характерный ярко-зеленый цвет, он является аутигенным минералом-индикатором морских условий осадконакопления. Выделяют три разновидности гидрослюдистых минералов по характеру решетки: политип 1 M (моноклинные с межплоскостным расстоянием $d_{00i} = 10$ Å, в том числе с неупорядоченной решеткой подтип I Md); политип I I0 (моноклинные с межплоскостным расстоянием I1 I2 I3 I4 (моноклинные с межплоскостным расстоянием I3 I4 (харатывающим два пакета) и политип I5 I7 (тригональные, редко встречающиеся).
- 4. Группа хлоритов, характеризующаяся внедрением бруситового слоя $Mg(OH)_2$ между трехэтажными элементами. Состав хлоритов очень различен из-за широко развитых изоморфных замещений.

Одним из важнейших направлений в изучении глинистых минералов является изучение их превращений или трансформации, проходящей на всех стадиях формирования глин. При этом выделяются два взаимопроникающих процесса: *деградация* — отрицательные преобразования, связанные с выветриванием и выносом вещества, и *аградация* — положительные преобразования, связанные с ростом кристаллической структуры и присоединением вещества.

Карбонатолиты (известняки и доломиты)

К карбонатным относят породы, более чем на 50 % сложенные минералами – молями угольной кислоты. При этом известняки – это породы, на 50 % и более состоящие из одного минерала (кальцита), а доломиты – соответственно, доломита. Обилие структурных типов карбонатолитов, вызванное смешением механизмов физической, химической дифференциации и «накладывающейся» биоты, привело к созданию многочисленных классификаций этих пород. В последние годы в отечественной литературе все более широким распространением пользуются классификации Р. Фолка и Р. Данхема, разработанные за рубежом около полувека назад (рис. 4.11).

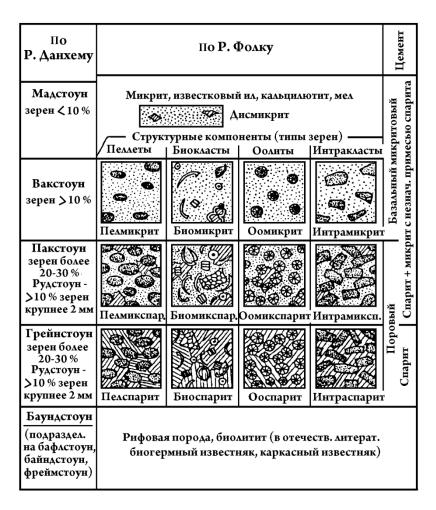


Рис. 4.11. Типизация известняков по Р. Фолку (1959) и Р. Данхему (1962), по (Мизенс, 2006)

Постседиментационные изменения и эволюция осадочных отложений

Наибольшую известность получила стадиальная схема эволюции осадочных образований, предложенная Н. М. Страховым:



Для постседиментационных преобразований осадочных пород наиболее предпочтительно выглядит схема, разработанная Н. Б. Вассоевичем. Основные стадии изменения пород, названия которых прочно вошли в отечественную литературу, а также краткая их характеристика приведены в приложении 9.

В отечественной литературе для характеристики постдиагенетических и предметаморфических преобразований осадочных пород широко используется направление, определяемое как стадиальный анализ (А. Г. Коссовская, О. В. Япаскурт).

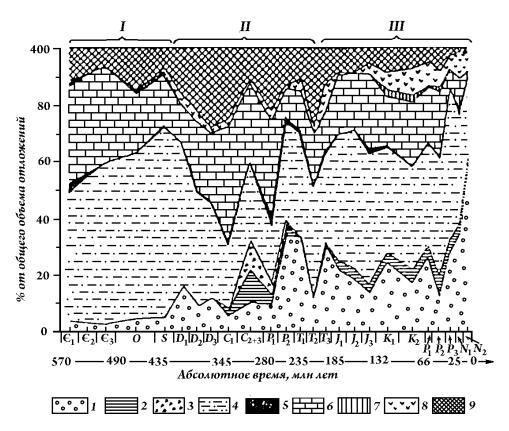


Рис. 4.12. Распределение во времени важнейших групп фанерозойских формаций в пределах современных континентов (Ронов, 1980):

формации: I — континентальные песчано-глинистые, 2 — угленосные, 3 — ледниковые, 4 — морские песчано-глинистые, 5 — эвапоритовые (соли, гипсы, ангидриты), 6 — карбонатные, 7 — кремнистые, 8 — вулканогенные наземные, 9 — то же, подводные; циклы : I — каледонский, II — герцинский, III — альпийский

Вопросы эволюции осадочного процесса наиболее глубоко проработаны Н. М. Страховым и А. Л. Яншиным. Особое внимание этой проблеме уделил А. Б. Ронов. На рис. 4.12 приведены среднестатистические глобальные закономерности смены пород по их группам для фанерозоя.

При рассмотрении отдельных крупных регионов тектонический ритм обнаруживает известную асинхронность, что хорошо отображается графиком хода трансгрессий и регрессий на платформах различных континентов в течение фанерозоя. Вместе с тем сквозь периодический ритм изменявшихся обстановок и количественных пропорций продуктов осадконакопления на фанерозойском этапе отчетливо просвечивают необратимые и направленные изменения палеогеографических условий седиментации. Они нашли выражение на площади современных континентов в закономерном и усиливавшемся во времени расширении области развития континентальных условий накопления осадков и соответствующем сокращении площади их накопления в морских условиях.

Литература

Алексеев В. П. Литология: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2004. 253 с.

Кузнецов В. Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение: учебное пособие для вузов. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. 511 с.

Фролов В. Т. Литология: учебное пособие. М.: Изд-во МГУ. Кн. 1, 1992. 336 с.; кн. 2, 1993. 432 с.; кн. 3, 1995. 352 с.

5. ГЕОДИНАМИКА

Геодинамика — отрасль геологии, изучающая силы и процессы в коре, мантии и ядре Земли, обусловливающие глубинные и поверхностные движения масс во времени и пространстве. Чтобы понять, как и почему происходят эти движения, в первую очередь нужно иметь представление о внутреннем строении нашей планеты.

Внутреннее строение Земли

Методы, на которых базируются наши знания и представления о строении планеты, следующие: сейсмические (сейсмология, сейсмостратиграфия, ГСЗ, сейсмотомография), гравиметрические, магнитометрические, физическое и математическое моделирование.

Для геологических целей используется *«скоростная модель»* строения Земли. Она базируется на том, что наша планета является радиально-симметричным телом и состоит из *серии концентрических оболочек*, *в которых сейсмические волны распространяются с разной скоростью* — в зависимости от плотности, вязкости, минерального и химического состава. Это алюмосиликатная кора (A), силикатная мантия (B, C и D) и железистое ядро (E и G) (*рис.* 5.1). Оболочки отделяются друг от друга границами раздела (*табл.* 5.1), на которых резко меняются упруго-плотностные свойства слагающего их вещества.

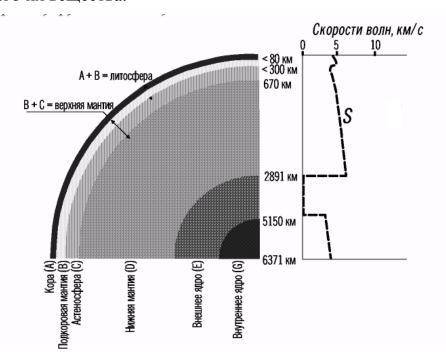


Рис. 5.1. Оболочки Земли (Аплонов, 2001).

Земная кора (A) — внешняя жёсткая оболочка планеты (о ней подробнее речь пойдет ниже). Кора и верхняя мантия разделяются границей Мохоровичича, или Мохо, где скорость продольных сейсмических волн (P) скачкообразно возрастает до 8 км/с. Граница Мохо отчетливо прослеживается под континентами и океанами, хотя и на различной глубине.

Таблица 5.1 Внутреннее строение Земли (Смывин, 2008)

Геосфера			Глубина границы раздела, км	Назва- ние границы	Скоро распростр сейсмич вол	оанения еских н	Плотность, г/см ³
				V_p	V_s		
Земная кора с		слой А	40	Moxo	5,5-7,4	3,2-4,3	2,8
	верхняя	слой В	410	_	7,9-9,0	4,5-5,0	3,7
Ман-		слой С	670	_	9,0-11,4	5,0-6,4	4,6
ТИЯ	РИЖИН	слой D	2700-	Гуттен-	11,4-13,6	6,4-7,3	5,5-5,7
			2900	берга			
Ядро	внешнее	слой Е	4980	_	8,1-10,4	_	9,7-10,0
	перех. слой	слой F	5150	_	10,4-9,5	_	11,5
	внутреннее	слой G	6371	_	11,2-11,3	_	12,5-13

Внутри континентальной коры выделяется граница Конрада (К). Эта граница наблюдается не повсеместно: часто в континентальной коре отмечается постепенное, без резких скачков, увеличение скорости упругих волн с глубиной. Ранее считалось, что она разделяет «гранитный» и «базальтовый» слои. Кора и близкая к ней по плотностным характеристикам подкоровая мантия объединяются в литосферу (A+B).

Под литосферой находится *астеносфера* (оболочка C) — верхняя мантия в интервале глубин 50-80 км для океанов и 200-300 км для континентов; нижняя граница астеносферы отвечает глубинам 660-670 км. Породы ее почти не отличаются по составу от пород нижней части литосферы, но имеют достаточно высокую температуру. Поэтому в астеносфере может идти процесс твердотельной ползучести, т. е. под действием внешних сил породы астеносферы текут в геологических масштабах времени подобно жидкости. При этом доля расплава в астеносфере не более 10 %. В целом ясно, что астеносфера более вязкая и пластичная среда, чем кора.

В нижней мантии (оболочка D) скорость P- и S-волн монотонно увеличивается соответственно до 13 и 7 км/с (в среднем). Мантия, за исключением верхних нескольких десятков километров, имеет химический состав, подобный составу лерцолита - одной из разновидностей перидотита, состоящей в основном из оливина и пироксена. На мантии границе с

внешним ядром (см. табл. 5.1) прослеживается слой пониженных скоростей (LZW) сейсмических волн. Граница между нижней мантией и внешним ядром (оболочкой Е) находится на глубине 2891 км и носит название границы Гуттенберга.

Внешнее ядро находится в жидком состоянии, S-волны в нем не распространяются. Состоит из смеси железа, серы и никеля и, возможно, водорода.

Глубже 5150 км находится *внутреннее ядро*, в котором вновь начинают проходить *S*-волны и возрастает скорость распространения *P*-волн, из чего следует вывод о твердом состоянии внутреннего ядра Земли. Оно состоит из железа и никеля.

Во внешнем ядре происходит конвекция (см. ниже), которая, в сочетании с осевым вращением Земли, придает внешнему ядру свойство динамо, и эти процессы совместно порождают главное магнитное поле Земли.

Основная часть массы нашей планеты (около 68 %) приходится на ее относительно легкую, но мощную мантию (около 50 % — на нижнюю и около 18 % — на верхнюю). Оставшиеся 32 % приходятся в основном на ядро, причем его жидкая внешняя часть (29 % общей массы Земли) гораздо тяжелее, чем внутренняя твердая (около 2 %). На кору остается лишь менее 1 % общей массы планеты.

Существует два основных типа земной коры — *континентальная* и *океаническая*, принципиально отличающиеся по мощности, составу (петрографическому, минеральному и химическому), возрасту и генезису. Разрезы приведены на рис. 5.2.

Континентальная кора. Её структуры (щиты, платформы, складчатые пояса) занимают около 30 % земной поверхности; средняя мощность коры — около 35 км. Средняя высота континентальных областей составляет + 870 м над уровнем моря, при самой высокой точке + 8848 м (г. Эверест). Континентальная кора представлена породами, образовавшимися на протяжении большей части геологической истории Земли. Древнейшие на сегодняшний день радиологические датировки пород и минералов континентальной коры составляют 3,8 млрд лет (Гренландия, гнейсы) и 4,1-4,3 млрд лет (Австралия, циркон, алмазы).

Средний состав верхней коры ближе к составу гранодиоритов (около $63 \% SiO_2$), нижняя кора большей части континентов отвечает гранулитам среднего – основного состава ($45-60 \% SiO_2$).

Для исследования состава континентальной коры за период 1961-1993 гг. в мире были пробурены глубокие скважины (около 20 шт., глубина 6-12 км). Самая глубокая из них — Кольская сверхглубокая скважина СГ-3 (1970-1994 гг.) имеет глубину 12 262 м. Она вскрыла разрез верхней

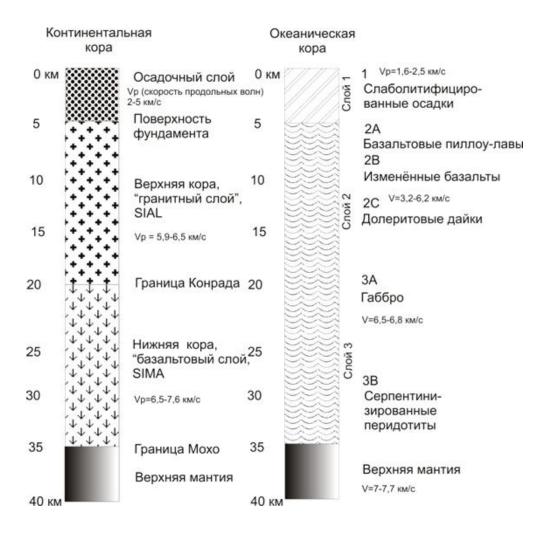


Рис. 5.2. Разрезы континентальной и океанической коры

части континентальной коры, но не достигла базальтового слоя. Первые 7 км были сложены вулканическими и осадочными породами: туфами, базальтами, брекчиями, песчаниками, доломитами. Глубже лежал так называемый раздел Конрада, после которого скорость сейсмических волн в породах резко увеличивалась, что изначально интерпретировалось как граница между гранитами и базальтами. Но базальты нижнего слоя земной коры не появились; наоборот, начались граниты и гнейсы. Разрез Кольской скважины показал, что сейсмические разделы в недрах — это не всегда границы слоев пород разного состава. Они могут указывать на изменение свойств пород с глубиной, при высоких давлениях и температурах.

Сверхглубокая скважина КТВ Хауптборунг (Германия, 1990-1994 гг.) по плану должна была достичь глубины 12 км, но из-за непредсказуемо высоких температур удалось добраться только до отметки 9,1 км. На глубине главным образом залегали амфиболиты и гнейсы — древние метаморфические породы. Предполагаемая зона схождения океана и остатки океанической коры нигде не обнаружены.

Океаническая кора имеет среднюю мощность 6-7 км, занимает около 70 % земной поверхности. Основные геоморфологические провинции: срединно-океанские хребты (СОХ), океанские абиссали и континентальные окраины. Везде, кроме СОХ, мощность коры остается примерно постоянной. Средняя глубина океанских котловин — около 4,5 км (при максимальной глубине 11 022 м в Марианской впадине).

Возраст древнейших пород океанского дна — около 160 млн лет (средняя юра). Это означает, что вся современная океаническая кора образовалась в интервале времени, составляющем всего 3-4 % от геологического возраста Земли.

Методом проверки наших представлений о разрезе океанической коры стало глубоководное бурение. В 1957 г. был создан американский проект *MOHOLE* (от англ. MOho – Moxo, граница раздела коры и мантии, и HOLE – дыра, скважина) с целью достижения глубинной границы мантии с корой.

Его сменил проект JOIDES (Joint Oceanographic Institution for Deep Earth Sampling), который спонсировали нефтяные компании США.

В начале XXI века Европа, США и Япония объединились и создали Программу интегрированного океанского бурения (Integrated Ocean Drilling Program – IODP). В 2004 г. в море вышла первая научная экспедиция, предпринятая в ее рамках. Цель – дополнить знания о палеоклимате Земли, механизме тектоники плит, вулканов и землетрясений, причинах колебаний уровня моря, отобрать глубоководные биологические сообщества.

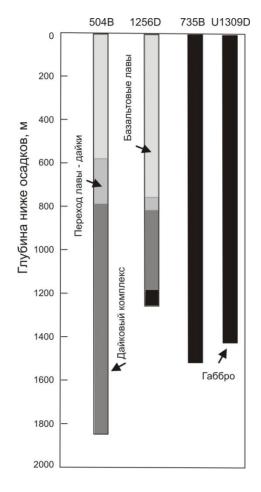
Всего за 40 лет по программам глубоководного бурения было пробурено около 2000 скважин, охвативших большую часть площади Мирового океана, кроме покрытых льдами арктических вод. Что же показало бурение?

Только 4 скважины проникли более чем на 1000 м в океанический фундамент (рис. 5.3). Скважина 504В в коре Тихого океана с возрастом 5,9 млн лет проникла на 2111 м ниже морского дна (mbsf), вскрыв разрез 2-го слоя, сложенный базальтовыми лавами и дайками, но не достигла 3-го слоя. Это рекорд глубины морского бурения, поставленный «Джойдес Резолюшн» в 1994 году у берегов Гватемалы.

Скважина 1256D, глубиной 1507 mbsf, пробуренная в коре сверхбыстрого спрединга Тихого океана с возрастом 15 млн лет, впервые достигла перехода дайки — габбро. На эту скважину, в случае ее углубления, возлагаются большие надежды.

Две глубокие скважины – 735В и U1309D – вскрыли габбро 3-го слоя на тектонических поднятиях в коре медленного спрединга Индийского и Атлантического океанов.

Океаническая кора принципиально отличается от континентальной повышенными содержаниями CaO, MgO, FeO и пониженными – SiO_2 , K_2O , Na_2O , а также многих элементов-примесей, в т. ч. и радиогенных изотопов.



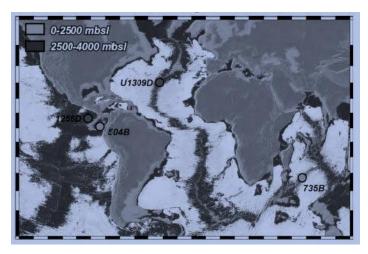


Рис. 5.3. Схематические разрезы скважин глубокого бурения и их географическая позиция (Ефимов, 2006)

Данные о химическом составе двух основных типов коры (*табл. 5.2*) выражают через основные окислы. Если же показать содержание химических элементов по отдельности, то самыми распространенными в коре окажутся кислород (43,13 %), кремний (26 %) и алюминий (7,45 %). Взятые вместе 10 наиболее распространенных окислов (*см. табл. 5.2*) составляют более 99 % земной коры по весу.

Таблица 5.2 Средний химический состав океанической и континентальной коры (Добрецов, 2001)

Окислы	Содержание, %			
Окислы	континентальная кора	океаническая кора		
SiO_2	60,2	48,6		
TiO_2	0,7	1,4		
Al_2O_3	15,2	16,5		
Fe ₂ O ₃	2,5	2,3		
FeO	3,8	6,2		
MnO	0,1	0,2		
MgO	3,1	6,8		
CaO	5,5	12,3		
Na ₂ O	3,0	2,6		
K ₂ O	2,8	0,4		

Источники вещества для образования двух типов коры разные. Для базальтовой *океанической коры* мантия является непосредственным источником вещества. Формирование *континентальной коры* происходит за счет переработки в зонах субдукции (см. ниже) океанической коры и инициированного этим процессом андезитового субдукционного магматизма. Это основной механизм, за счет которого к уже существующей континентальной коре постоянно добавляется новый материал. Коэффициент полезного действия (КПД) такого механизма составляет в среднем 20 %. Из 1 т базальтовой коры океана выплавляется примерно 200 кг андезитовой коры островных дуг и активных окраин.

Плиты, типы межплитовых границ и процессы, к ним приуроченные

Одна из главных ключевых идей геодинамики состоит в том, что по более вязкой и пластичной астеносфере «могут плавать» фрагменты более твердой и жёсткой литосферы. Что же это за фрагменты?

Литосфера (A+B, см. выше) не является сплошной оболочкой. Она разделена на небольшое число относительно тонких жестких *плит*, движущихся по поверхности планеты. Поэтому одним из главных теоретических направлений в геодинамике является *тектоника плит* (plate-tectonic).

Скорости перемещения литосферных плит составляют несколько сантиметров в год. Хотя эти скорости кажутся незначительными, большая часть всех происходящих на планете землетрясений, вулканических извержений и горообразовательных процессов происходит именно в области межплитовых границ. Современная сейсмическая и вулканическая активность является основным критерием выделения границ литосферных плит.

По характеру взаимодействия смежных плит границы между ними подразделяются на три типа: дивергентные — характеризуют процесс расхождения плит; конвергентные — процесс сближения (схождения плит); трансформные — скольжение плит друг относительно друга. Распределение границ по поверхности Земли приведено в прил. 5.

Дивергентные границы. Там, где литосферные плиты расходятся, освобождающееся между ними пространство заполняется поднимающимся снизу веществом астеносферы и его выплавками (рис. 5.4). Узкая, протяженная впадина, образующаяся в результате раздвига, часто осложнена поперечными разломами, смещенными относительно оси удлинения (трансформные разломы). Английский геолог Грегори, описавший подобные структуры в конце прошлого века в Восточной Африке, назвал их рифтами (от англ. rift — разрыв, щель); цепочки из нескольких рифтов обычно именуют рифтовыми зонами.

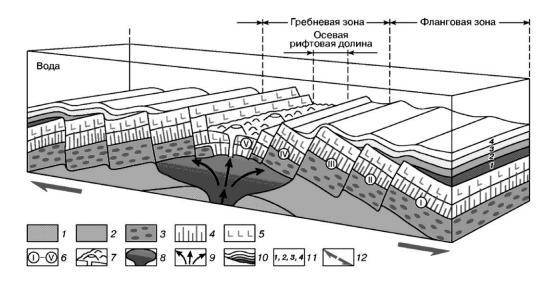


Рис. 5.4. Строение фрагмента океанического рифта (Милановский, 2005): 1 – астеносфера; 2-7 – разновозрастные комплексы ультраосновных и основных пород океанической коры; 8 – магматический очаг; 9 – конвективные течения магмы в очаге; 10-11 – разновозрастные стратиграфические комплексы океанических осадков; 12 – направления, по которым происходит растяжение

Если дивергентная граница пересекает материк, то над ней возникает континентальная рифтовая зона. В океанах дивергентным границам соответствуют срединно-океанические хребты (СОХ) с рифтовыми зонами на гребнях. Общая протяженность СОХ на поверхности Земли — около 80 000 км. Процесс расхождения плит — рифтинг (рифтогенез); масштабная форма рифтинга — спрединг (рис. 5.5).

Конвергентные границы. Когда литосферные плиты сходятся, возможны две ситуации (рис. 5.6). Если взаимодействуют континентальная и океанская литосфера, то более тяжелая и плотная океанская поддвигается под более легкую континентальную. В таких местах возникают сопряженные системы глубоководных желобов с островными дугами или активными континентальными окраинами, в пределах которых идет поглощение океанской литосферы в мантии. Этот процесс называют субдукцией.

Когда вся океаническая кора уже погружена в мантию и сталкиваются две континентальных плиты, то субдукция их невозможна, поскольку легкая континентальная литосфера не может погрузиться в мантию на значительную глубину. В таких случаях происходит «торошение» континентальных краев плит, за счет которого воздымаются молодые горные сооружения. Этот процесс называют коллизией. Обстановка, промежуточная между субдукцией и коллизией, — аккреция. В пространство между сталкивающимися континентами попадают разнородные разновозрастные фрагменты — микроконтиненты, островные дуги, подводные горы и т. п., они называются террейнами.

Конвергентные границы плит – зоны повышенного риска. Землетрясение на Гаити (январь 2010 г.) стало результатом подвижек земной коры в

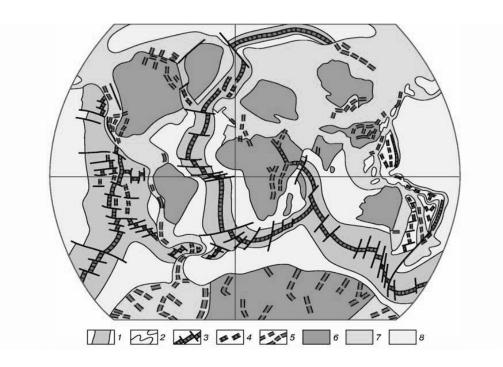


Рис. 5.5. Распространение кайнозойских континентальных рифтовых зон и срединно-океанических хребтов Земли (Милановский, 2005):

1 – внутриокеанические спрединговые пояса;
 2 – Западно-Тихоокеанский спрединговый пояс;
 3 – активные осевые зоны спрединговых поясов и секущие их крупнейшие трансформные разломы;
 4 – отмершие осевые зоны спрединговых поясов;
 5 – континентальные рифтовые зоны и их системы;
 6 – древние платформы (стабильные ядра континентов);
 7 – подвижные пояса разного возраста на континентах;
 8 – области дна океанов вне кайнозойских спрединговых поясов преимущественно с мезозойской корой океанического типа

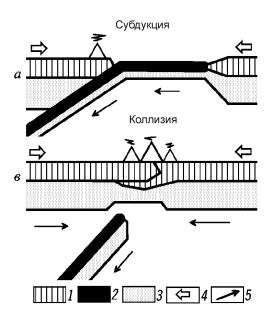


Рис. 5.6. Процессы, происходящие на дивергентных границах плит:

1 — континентальная кора; 2 — океаническая кора; 3 — подкоровая мантия; 4 — направление движений плит; 5 — направление конвективных течений

зоне контакта Карибской и Северо-Американской литосферных плит. В последний раз толчки такой разрушительной силы здесь имели место в 1751 г.

После прекращения активной коллизии континентальная кора постепенно переходит к стабильному платформенному режиму развития. Высо-

коприподнятые участки горно-складчатых поясов подвергаются разрушению (пенепленизации), а сносимый с них осадочный материал отлагается в межгорных впадинах.

Интервал перехода континентальной литосферы от коллизионной стадии развития к платформенной растягивается на первые сотни миллионов лет. Например, Урал, коллизия которого произошла примерно 270 млн лет назад, до настоящего времени остается горной системой, хотя и невысокой.

Цикл Уилсона

В современном понимании цикл Уилсона — это представление об эволюции литосферы как о непрерывной пространственно-временной смене геодинамических обстановок, взаимосвязанных, отчасти взаимообусловленных и переходящих одна в другую. Этапы цикла (npun. 6) — 1) континентальный рифтинг (\pm палеорифт); 2) спрединг молодого океана (\pm локальная палеоось спрединга); 3) спрединг зрелого океана; 4) субдукция; 5) коллизия.

На ранних стадиях эволюции литосферы (до того, как молодой океан становится зрелым), цикл Уилсона может дать побочные ответвления. Если на стадии континентального рифтинга растяжение литосферы по какимлибо причинам прекратится, то образуется палеорифт, а если то же самое произойдет уже на стадии спрединга молодого океана, последний превратится в локальную палеоось спрединга, над которой впоследствии развиваются «несостоявшиеся океаны» - блоки древней океанской коры, впечатанные в глубокопогруженный фундамент. В обоих случаях на месте структур, возникших в результате ответвлений цикла Уилсона, формируются глубокие и обширные осадочные бассейны, часто нефтеносные (например, Обский палеоокеан).

Таким образом, цикл Уилсона — это полный цикл эволюции складчатого пояса, от возникновения рифта до закрытия океана. В настоящее время в разных местах планеты существуют и эволюционируют разные стадии этого пространственно-временного механизма (см. прил.6).

Силы, приводящие в движение плиты, и энергетический баланс Земли

Все литосферные плиты непрерывно перемещаются друг относительно друга. Это «ключевая идея» геодинамики и её главного направления — тектоники литосферных плит. Движение плит требует какой-то системы горизонтальных сил, которые могли бы заставить плиты раздвигаться на дивергентных границах, скользить друг относительно друга на трансформных и сталкиваться на конвергентных.

В качестве основной (хотя и не единственной) силы, движущей литосферные плиты, современная геодинамика рассматривает конвекцию в мантии Земли.

Конвекцией называют движение вещества, возникающее в среде с неустойчивой стратификацией плотности ρ в результате действия силы тяжести g, при котором более легкие вещества всплывают вверх, а более тяжелые опускаются вниз. Суть конвекции заключается в движении, обусловленном плавучестью: более легкий материал всплывает, а более плотный — тонет.

Мантия сама не способна генерировать радиогенное тепло, во всяком случае в том количестве, которое необходимо для «запуска» механизма конвекции. Вместе с тем, учитывая огромную общую массу мантии, нельзя полностью исключить какой-то вклад ее радиогенной теплогенерации в общий тепловой баланс Земли. Наиболее вероятным в настоящее время является представление, что в недрах Земли конвекция обусловлена процессом химико-плотностной дифференциации вещества, приводящим к росту тяжелого железистого ядра и перемешиванию относительно легкой остаточной силикатной мантийной оболочки (рис. 5.7).

Любая модель мантийной конвекции должна объяснять периодические изменения стиля глобальных движений литосферных плит на протяжении геологической истории нашей планеты, например, образование или раскол суперконтинентов.

Модель сквозьмантийной (одноярусной) конвекции предполагает, что в мантии Земли простейшей из возможных форм является одноячейковая конвекция с противостоящими друг другу полюсами подъема и опускания вешества.

Двухъячейковые формы конвекции имеют два противоположных «полюса» подъема и «экватор» опускания вещества (закрытые ячейки) или, наоборот, с экватором подъема и двумя полюсами опускания вещества (открытые ячейки).

Численное моделирование показывает, что обе эти формы мантийной конвекции неустойчивы и способны трансформироваться одна в другую за время порядка 10^8 - 10^9 млн лет.

Современный двухъячейковый режим конвекции, начавшийся примерно 200 млн лет назад распадом суперконтинента Пангея и породивший современные океаны, в будущем сменится на одноячейковый режим. Это, возможно, приведет к столкновению материков и формированию нового суперконтинента, пятого по счету в истории Земли (см. ниже).

По современным представлениям, к наиболее мощным энергетическим процессам, развивающимся в недрах Земли, относятся:

1) процесс гравитационной дифференциации земного вещества по плотности, приводящий к расслоению Земли на плотное ядро и остаточную

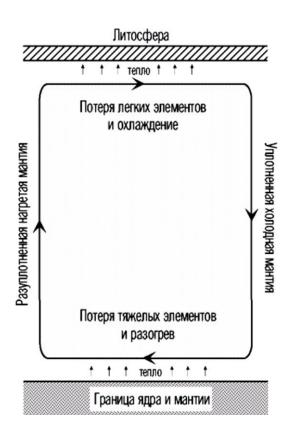


Рис. 5.7 Схема простейшей химикоплотностной конвекции в мантии

силикатную мантию (следствием являются конвективные течения в мантии);

- 2) процесс распада радиоактивных элементов;
- 3) процесс приливного взаимодействия Земли с Луной;
- 4) энергетическая активность плюмов (вклад не рассчитан, см. ниже).

Энергетический баланс Земли в ходе геологической эволюции изменялся (*puc.* 5.8). На стадии рождения Землей была запасена начальная энергия, связанная с ее *аккрецией и сжатием*, которая впоследствии пошла на первичный разогрев нашей планеты.

В качестве дополнительного источника разогрева рассматриваются приливные взаимодействия Земли с предшественницей Луны — более массивной Протолуной, захваченной Землей с близкой орбиты в период аккреции. Гипотеза захвата и последующего разрушения Протолуны объясняет две уникальные геологические особенности Земли: 1) именно сильные приливные взаимодействия («приливные удары») на протяжении катархея привели к формированию у Земли первой астеносферы, что предопределило дальнейшую уникальную геодинамическую и тектоническую активность нашей планеты; 2) кроме того, после расплавления недр Земли и появления в ней «магматического океана» первичная оболочка планеты раскололась и быстро утонула в нем. Поэтому на современной поверхности Земли мы не видим следов метеоритных бомбардировок, характерных для поверхностей других планет, а изотопные датировки земных горных пород не превышают 4 млрд лет — все более древние образования опустились в расплавленные недра Земли и полностью исчезли из геологической летописи.

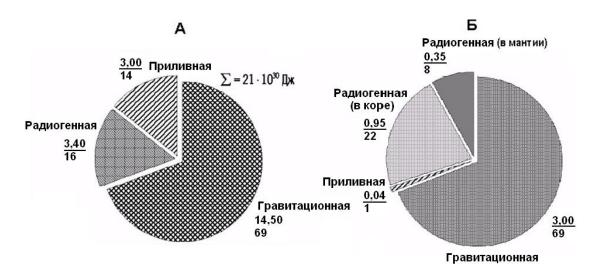


Рис. 5.8. Суммарное энерговыделение за всю историю Земли (A) и скорость выделения разных видов энергии в современной Земле (Б) (Аплонов, 2001): над чертой — значение ($x10^{30}$ Дж), под чертой — %

Когда Протолуна перестала существовать и аккреция прекратилась, как внешний источник энергии стали выступать приливные взаимодействия Земли с Луной; роль их в энергетике невелика.

На ранних этапах развития Земли был более мощным, чем в настоящее время, радиогенный источник энергии. Концентрация в мантии изотопов 238 U, 235 U, 232 Th и 40 K со временем уменьшалась за счет их распада и перехода в континентальную кору. Этот переход происходил пропорционально скорости конвективного массообмена в мантии, — миграция началась лишь после того, как у Земли появились астеносфера и континентальная кора (примерно 3,8 млрд лет назад). Далее интенсивность радиогенного энерговыделения в мантии резко падала; сейчас скорость генерации радиогенной энергии в мантии Земли не превышает $0.35\cdot10^{13}$ Вт, т. е. составляет всего 5 % от начального уровня и 8 % от суммарных теплопотерь современной Земли.

Начиная с архея главную роль в энергетическом балансе Земли стал играть внутренний источник — *гравитационная дифференциация* ее вещества, следствием чего являются *конвективные течения в мантии*. Эта энергия существенно превышает выделение в Земле всех остальных видов энергии.

Фазы диастрофизма

Режимы конвективных течений в истории Земли менялись несколько раз. Этим сменам отвечают крупнейшие фазы диастрофизма — эпохи совокупного проявления интенсивной складчатости, магматизма и метаморфизма. Они по масштабу и интенсивности проявления делятся на три порядка (табл. 5.3): І — глобальные (жирный шрифт), ІІ — региональные (обычный шрифт) и локальные — ІІІ (курсив).

Таблица 5.3 Фазы диастрофизма на Земле

Этап	Фаза	Время, млрд лет	Суперконтинент
	Альпийская	0,05	
4-й	Герцинская	0,26	Пангея
	Каледонская	0,42	
	Катангская	0,67	
	Гренвильская	1,05	Мезогея
	Авзянская	1,25	
	Кибарская	1,4	
	Выборгская	1,6	
	Карельская	1 ,9	Мегагея (Пангея-1)
	Селецкая	2,4	
3-й	Кеноранская	2,7	Моногея (Пангея-0)
	Барбетонская	3,0	
	Свазилендская	3,15	
	Белингвийская	3,4	
2-й	Саамская	3,6	
1-й	Готхобекая	4,0	

Архейские (4,0-2,6 млрд лет) фазы диастрофизма І порядка были наиболее мощными. Это позволяет говорить об уникальной тектонической активности Земли на ранних стадиях развития и связывать эту уникальность со спецификой гравитационной дифференциации (режима конвекции) Земли в архее. В это время за счет подпитки приливной энергией («приливных ударов») начала образовываться астеносфера (около 4 млрд лет назад), затем — обособляться ядерное вещество (4,0-3,2 млрд лет): процесс его выделения шел в режиме выплавления металлического железа из силикатной матрицы (рис. 5.9). Далее начали формироваться более низкотемпературные эвтектические расплавы Fe_2O (около 3 млрд лет); этот механизм был намного энергоэкономичнее предыдущего.

Окислы железа были плотнее и тяжелее силикатной матрицы, а плавление шло в верхних слоях Земли, так что ее менее плотная сердцевина оставалась жесткой и холодной. В Земле возникла гравитационная неустойчивость (рис. 5.10): кольцевой (еще не глобально выраженный!) слой плотных железистых расплавов окружал собой холодную и жесткую сердцевину планеты. К концу архея кольцевая зона дифференциации расширилась от экватора в сторону полюсов, и в ней уже скопилась большая масса тяжелых окисно-железных расплавов, «ядерное» вещество из приповерхностных слоев Земли, где оно выплавлялось, устремилось к центру планеты, а ее жесткая сердцевина была вытолкнута к поверхности (около 2,6 млрд лет).

Этому катастрофическому событию, произошедшему около 2,7-2,6 млрд лет назад, соответствует *кеноранская фаза диастрофизма* – самое

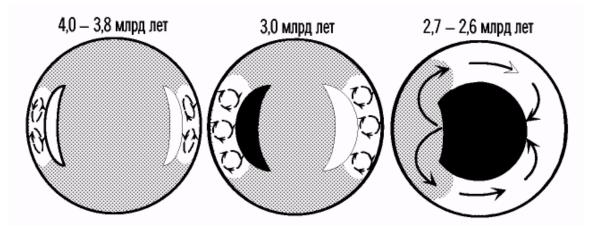


Рис. 5.9. Последовательные этапы дифференциации земного вещества и формирования ядра Земли (Аплонов, 2001)

грандиозное тектоническое событие в истории Земли, завершившее собой архей. Процесс выделения ядра сопровождался генерацией огромной энергии, шедшей на прогрев первичного вещества бывшей земной сердцевины. Скорость выделения гравитационной энергии в то время составляла более 45-10¹³ Вт, т. е. в 15 раз превышала современную. За счет лавинообразного выделения ядра в недрах Земли впервые возникла сквозная одноячейковая конвективная структура. Таким образом, *только с начала протерозоя «заработал» механизм тектоники плит*, подобный современному.

Главным тектоническим следствием процесса выделения земного ядра и возникшей при этом одноячейковой конвективной структуры было формирование на Земле первого суперконтинента — *Моногеи*. В дальнейшем перестройка режимов конвекции также способствовала распаду и схождению континентов. После выделения земного ядра скорость генерации гравитационной энергии резко упала, и дальнейший процесс плотностной дифференциации Земли протекал уже значительно спокойнее, постепенно снижаясь до современного уровня.

Следующий после Моногеи суперконтинент — *Мегагея* — сформировался путем *карельской фазы диастрофизма* (1,9 млрд лет). Произошла кратонизация большинства платформ (например, Восточно-Европейской). В начале рифея (1,65 млрд лет назад) Моногея начала распадаться. Следами распада являются рифейские авлакогены той же Восточно-Европейской платформы. *Гренвильская фаза диастрофизма* (1,05 млрд лет) сформировала третий — *Мезогею*. Следы гренвильской орогении широко известны в канадской провинции Гренвиль, но они не так обильны, как следы предшествующих саамской, кеноранской и карельской фаз диастрофизма.

Когда снова, четвертый раз, в Земле возникла одноячейковая конвекция (0,26 млрд лет), в конце палеозоя сформировался последний в истории суперконтинент – Пангея. Этому соответствует герцинская фаза диа-

строфизма. В результате последующего распада Пангеи в начале мезозоя началось образование современных океанов.

Таким образом, уникальная тектоническая активность Земли является прямым следствием изменений ее энергетического баланса в ходе геологической истории. Интервалы между глобальными фазами диастрофизма (образованием суперконтинентов, составляют в среднем 835 млн лет, что в 4 раза больше длительности галактического года — периода обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики. Это наводит на мысль о взаимосвязи между тектонической активностью Земли и космическими факторами.

Плюмы – «двигатели» тектоно-магматических процессов

В последние 20 лет признается определенный вклад в энергетику Земли плюмов – пространственно зафиксированных вертикальных потоков горячего легкого вещества, поднимающихся со значительных глубин (рис. 5.10). Мантийные плюмы могут зарождаться на трех уровнях: в верхней мантии (глубина 100-300 км), на границе верхней и нижней мантии (670 км), на границе нижняя мантия – ядро (2900 км). В зависимости от глубины генерации, они имеют разные время и высоту подъема. Продолжительность активности плюмов – от 15 до 90-120 млн лет. Генерация их связана в процессами, происходящими в глубинных оболочках Земли. Выходы плюмов на поверхность называют «горячими точками», в мире их наблюдается довольно много (рис. 5.11). Проявления плюмовой активности фиксируются массовыми излияниями лав (ультраосновного, основного, щелочного состава), формирующими целые провинции. С ними связаны месторождения алмазов, железных и медно-никелевых руд.

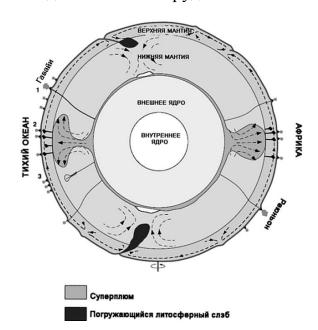


Рис. 5.10. К вопросу о происхождении плюмов (Добрецов, 2001)

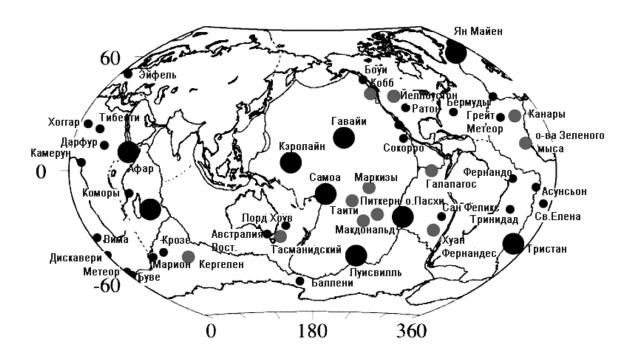


Рис. 5.11. Глобальная схема положения крупных горячих точек (Пучков, 2008). Проявления плюмов разделены на группы, имеющие глубинные источники на границе коры и мантии (большие черные точки), в основании верхней мантии (серые точки) и в литосфере (черные малые точки)

В последнее время считается, что спустя около 2,5 млрд лет после образования Земли в тектоно-магматические процессы стало вовлекаться новое, глубинное, геохимически обогащенное вещество, ранее практически в них не участвовавшее, — начали свою активность плюмы, что, в конечном счете и привело к появлению механизма тектоники плит, действующего и поныне. Возможно, именно плюмы с начала протерозоя являются главными двигателями тектоно-магматических процессов на Земле. Из этого следует, что жидкое железистое ядро сейчас является энергетическим «сердцем» нашей планеты, так как на границе с ним формируются мощные плюмы (суперплюмы). После затвердевания внешнего ядра тектоно-магматические процессы прекратятся, как это уже имеет место на Луне, Венере, Марсе и Меркурии.

Литература

Аплонов С. В. Геодинамика. СПбГУ, 2001 (электронная версия).

Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 409 с.

Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2010. 560 с.

6. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ (ГЕОЛОГИЯ РОССИИ)

Региональная геология (РГ) – отрасль геологических знаний, которая концентрирует сведения по палеонтологии и стратиграфии, палеогеографии, вулканологии, сумма которых дает основание для восстановления палеотектоники, или, как сейчас принято говорить, – геодинамики. Характеристика полезных ископаемых как осадочного происхождения, так и эндогенных, составляет неотъемлемую часть региональной геологии. В следующем ниже обзоре по территории востока Восточно-Европейской платформы (ВЕП), Уралу и смежным районам Западной Сибири будут приведены некоторые новые, в том числе и авторские данные. Для остальных структур России для обзора будет использован материал разных источников, интерпретация которого наиболее близка представлениям автора.

Вся территория России (npun. 7) включает две крупные древние платформы — Восточно-Европейскую и Сибирскую (СП), примерно близкие по площадям и только в некоторых отношениях по геологической истории.

На обеих платформах плитный этаж начинается с венда. Осадочный чехол ВЕП хранит в себе всю сложную историю развития этой огромной структуры с архея до настоящего времени. Принятые на сегодня границы ВЕП как бы заканчиваются на побережье Северного Ледовитого океана, что не соответствует действительности. На дне Баренцева моря, на его островах и архипелагах определенно прослеживаются те же докембрийские, кембрийские и палеозойские в целом отложения, которые ни в коем случае нельзя отрывать от ВЕП. А баренцевоморские осадочные толщи уже напрямую связаны с северо-американскими через Гренландию и Канадский Арктический архипелаг.

Начальные стадии формирования ВЕП относятся к архею, и возраст наиболее древних пород на этой структуре — 3,3 млрд лет. Протерозойская история начинается с заложения серии грандиозных авлакогенов. В позднепротерозойское время площади отложений этого возраста значительно расширились, и с венда сформировался плитный этаж. В последующей истории ВЕП можно отметить периоды высокого стояния территории в кембрии, ордовике, силуре и раннем девоне, когда моря заливали только крайние западные и восточные — Приуральские — территории платформы. В среднем и позднем девоне морские обстановки преобладали на всей территории ВЕП. Краткий период осушения значительных площадей приходится на пограничное средне-позднедевонское время.

В позднем девоне (франский – фаменский века) значительная часть территории ВЕП – Волго-Уральская область – претерпела стадию тектоно-

магматической активизации с образованием Камско-Кинельской системы поднятий и прогибов. Платформа оказалась расколотой глубокой системой рифтов на две неравные части – западную, сохранившую относительную целостность, и восточную – Волго-Уральскую, расчлененную на поднятия и прогибы. В это же время заложился Донецкий авлакоген, в котором установлено до шести эпизодов проявлений вулканической деятельности. В серии рифтов платформы, которые прослежены от Донецкого авлакогена до Тимана, установлены интрузии габбро-диабазов, норитов, вулканогенные породы, туфы. Авлакогены характеризуются повышенными мощностями пашийских, кыновских и саргаевских отложений. Возможно, с этим периодом активизации связано появление кимберлитовых трубок на Северном Тимане, определенно таковые имеются на территории Белоруссии. Косвенно этот вывод подтверждается наличием алмазов в терригенных отложениях Литовской седловины и смежных территорий. Кинельская грабеново-горстовая система существовала до конца турнейского века (Щербаков и др., 1966; Чувашов, 1968).

В раннем визе значительная часть востока ВЕП, начиная от Подмосковья, была сушей, на территории которой в устьевых частях рек сформировались угольные бассейны (с запада на восток): Подмосковный, Приволжский на территории Татарстана и ряд Приуральских. Среди последних с юга на север известны следующие угольные месторождения: Чусовское, Кизеловское и Вуктыльское. Из них долгое время с середины XVII века до 2000 г. эксплуатировалось Кизеловское месторождение. Наибольшая мощность угленосных отложений этого возраста (300 – 400 м) известна на этом месторождении. Значительные запасы угля Кизеловского месторождения остались в поднадвиговых структурах. На территории Волго-Уральской области, особенно в Пермском Прикамье, с терригенными породами нижнего визе связана группа небольших месторождений нефти.

В поздневизейское время, в серпуховский век, на огромной площади востока ВЕП сформировалась карбонатная платформа (КП). Восточная граница этой структуры проходила западнее меридиана Москвы, а восточная — на Западном Урале. Близ западной границы мощность КП близка к $200 \, \text{м}$, на западном склоне Урала — $400 - 500 \, \text{м}$.

На севере континента КП продолжается на островах Новоземельского архипелага (Чувашов, 2000; Чувашов, Матвеев, 2002).

В башкирский век западная граница морского бассейна резко сместилась на восток, до правобережья р. Волги, что можно связать с началом Гондванского оледенения на юге планеты. Это предположение подтверждается резким обеднением биоты в раннебашкирское время (Чувашов и др., 2003), а также и поведением стабильных изотопов углерода и кислорода (Grossman et al., 2007).

В начале московского века значительная часть востока ВЕП превратилась в островную сушу с широким развитием терригенных отложений. Терригенный материал поступал с востока в связи с развитием варисцийского (герцинского по другой терминологии) орогенеза. Этот интервал разреза также оказался одним из нефтеносных горизонтов востока ВЕП: здесь в 1934 г. было открыто Краснокамское месторождение нефти.

В последующее время московского века западная граница морского бассейна раздвинулась до размеров раннекаменноугольной КП, т. е проходила значительно западнее меридиана г. Москва (Chuvashov, Crasquin – Soleau, 2002). Близкую позицию занимал морской бассейн в позднем карбоне – в касимовский и гжельский века.

В среднем и позднем карбоне активно развивался Донецкий авлакоген с формированием серии угольных пластов. Угольные месторождения Донбасса являются возрастным аналогом «угольного канала» Центральной и Западной Европы, который протягивается от Шотландии, на территории Бельгии, Франции, Испании и Марокко.

Ситуация значительно изменилась в ранней перми. В ассельский век (Chuvashov, Crasquin – Soleau, 2002) западная граница ассельских известняков сместилась на восток до г. Ногинска, в сакмарский век сокращение продолжалось еще на 300 – 400 км, а в артинский век – западная граница относительно нормального по солености моря проходила вблизи левобережья Волги. В кунгурский век на всем пространстве между Волгой и западной границей Предуральского прогиба образовался огромный эвапоритовый бассейн, который по своим размерам был равным или даже превосходил пермские солеродные бассейны того времени в Северной Америке.

Донецкий авлакоген продолжал существовать в ассельский век и закрылся в начале сакмарского века. Ассельские фузулиниды и брахиоподы авлакогена обнаруживают родство с биотой области Тетис, что было принято при построении карты области Перитетис (Chuvashov, Crasquin – Soleau, 2002).

Полезные ископаемые ВЕП разнообразны и приурочены к разным структурным этажам платформы. Из всего разнообразия этого перечня мы остановимся только на каустобиолитах. В последнее время все отчетливее вырисовываются перспективы нефтеносности венда. Большая группа месторождений нефти связаны с средне—верхнедевонскими отложениями на уровне пограничных слоев франского-фаменского яруса на всей территории Волго-Уральской области. Второй этаж нефтегазоносности — франский и фаменский ярусы зон поднятий Камско-Кинельской системы прогибов. Следующий горизонт нефтеносности — терригенно-карбонатные породы нижней части московского яруса. В этих отложениях было открыто одно из первых месторождений на территории Волго-Уральской области —

Краснокамское. Первым нефтяным месторождением этой территории было месторождение Верхне-Чусовских городков, приуроченное к органогенной постройке саргинского горизонта артинского яруса, открытое в 1929 г. Целая группа месторождений нефти установлена в 30-х годах прошлого века в рифовых структурах ассельского и сакмарского ярусов Башкирии. Пионерским открытием этой группы является Ишимбаевское месторождение. К этому же типу относятся месторождения на окраине Прикаспийской депрессии, открытые в 70 – 80-х гг. прошлого века.

На юге ВЕП граничит с молодой Скифской плитой (СП), сформировавшейся на базе герцинского орогена. Переходный комплекс представлен верхнекаменноугольными — пермскими отложениями с участием отложений триаса и ранней юры. Среднеюрские отложения начинают плитный тектонический этаж. На востоке СП ограничивается Каспийским морем. Почти полным аналогом СП по истории формирования является Северотуранская плита — южное продолжение Западно-Сибирской плиты.

Таким образом, мы подошли к проблеме определения западной границы Уральского подвижного пояса. Здесь нам придется вернуться к началу истории региона.

Наиболее древним массивом на Западном Урале является Тараташский комплекс с возрастом 2,2 млрд лет. Мощная толща уральского рифея, представленная чередованием карбонатных и терригенных пачек, является эталоном для образований этого возраста не только на территории ВЕП, но и всей России. В последнее время значительно продвинулось изучение терминального рифея — венда с корреляцией отдельных его толщ до Беломорья.

В раннем и среднем палеозое на базе ВЕП на западном склоне сформировался огромный по протяженности Сакмаро-Лемвинский рифт, связанный с погружением края платформы. В настоящее время депрессионные отложения рифта сохранились на Пай-Хое, в Лемвинской структурнофациальной зоне (СФЗ), в южной части Уфимского амфитеатра и в Сакмарской СФЗ, будучи разрушенными последующей эрозией. Восточный борт рифта также на большей части уничтожен эрозионными процессами и сохранился только на Приполярном Урале (Руженцев и др., 1991). История зарождения и современное состояние этой важной тектонической структуры до сих пор остается слабоизученным, что и является причиной разного толкования ее природы.

Весь Западный Урал обнаруживает тесную связь с ВЕП в истории седиментогенеза и важнейших тектонических событий. Назовем важнейшие из них: позднедевонская тектоно-магматическая активизация с образованием Камско-Кинельской системы поднятий и прогиба охватила весь «западный склон» Урала. Возникшее в среднем карбоне горное сооруже-

ние Палеоурала оказало свое воздействие на большую восточную часть ВЕП, что выразилось, прежде всего, образованием грандиозного Предуральского краевого прогиба (ПП), ширина которого (по реконструкциям) могла достигать 200 км, а протяженность — более 2000 км. Длительное время с башкирского века до конца ранней перми (до соликамского времени, включительно) ПП был аккумулятором мощного потока терригенного материала с разрушающегося горного сооружения и не «пропускал» его на запад. С закрытием ПП «плащ» продуктов разрушения горного сооружения позднепермского и триасового Палеоурала достиг правобережья Волги.

Ориентация тектонических структур и фациальных границ в течение палеозоя на западном Урале изменялась со временем. В ордовике — среднем девоне эти границы были ориентированы субмеридионально. В позднем девоне — турне границы поднятий и прогибов часто приобретали почти широтное направление. С началом варисцийского орогенеза ориентация важнейших структур Западного Урала вновь приняла субмеридиональную ориентацию.

В юрский период западный склон представлял собой приподнятую низкохолмистую гряду, которая снабжала обломочным материалом примыкающие районы зарождающегося огромного седиментационного бассейна Западной Сибири. В меловой период Палеоурал был фактически денудирован и отдельные проливы соединяли эфемерный меловой бассейн Приуралья с обширной территорией Западносибирского мелового моря (Папулов, 1974). Горное сооружение современного Урала берет свое начало в палеогене, о чем свидетельствует положение древних террас, поднятых, например, на р. Чусовой, на высоту более 100 м.

Восточный склон Урала отделен от западного склона системой тектонических нарушений, которые известны под названием Главного Уральского разлома (ГУРа). Ему придается разное значение в сепарации восточного и западного склонов Урала. По нашим представлениям (Чувашов, 2008), ГУР разделяет две принципиально различные территории – монолит Западного Урала, как активизированный блок ВЕП, и систему мозаичных подвижно сочлененных блоков Восточного Урала. В некоторых из них выведены на поверхность докембрийские толщи, но чаще эти блоки покрыты толщей осадочного чехла разной седиментационной длительности. За счет переплавки фундамента этих блоков при их смещении относительно один другого мы имеем редкие выплавки гранитоидов и родственных пород в досреднекаменноугольное время. Амплитуда движения блоков тогда определялась силами изостазии.

Основная часть гранитоидов, имеющая позднекаменноугольнораннепермский возраст, выплавилась в результате сжатия с востока. Значительная величина горизонтального смещения подтверждается анализом развития Предуральского краевого прогиба (Чувашов, 1997; Чувашов, Щербаков, 2008).

В осадочном чехле восточного склона Урала обнажены разные по типу осадочные толщи докембрия, кембрия — среднего карбона. Разную роль среди осадочных серий имеют карбонатные породы. Нашими исследованиями здесь более основательно затронуты девонские образования, с подробной типизацией разрезов нижнего и верхнего девона. По этому признаку (по типам разреза) вся территория обнаженного Урала подразделена на блоки с разной историей седиментогенеза (Чувашов, 2006). При этом важно отметить, что одновозрастные биоты западного и восточного склонов Урала (фораминиферы, кораллы, брахиоподы, аммоноидеи, известковые водоросли) тождественны по таксономическому составу, что показывает, что эти две акватории свободно сообщались в течение силура, девона и карбона.

В позднем визе, в серпуховский век и до середины башкирского века, а местами (р. Миасс) и до его конца на восточном склоне существовала карбонатная платформа. Наиболее значительным по толщине ее составляющим членом (до 1200 м) была Кизильская свита позднего визе — серпухова. Башкирский ярус разной мощности и варьирующей литологии представляет кровлю этой платформы. Московский век был последним эпизодом существования морского бассейна в межгорном прогибе восточного склона Урала (Чувашов, Анфимов, 2003), среди терригенных флишоидных образований. Море наступало с юга и достигало на севере широты г. Алапаевска. Наиболее мощная толща московских карбонатов (более 700 м) накапливалась в Восточных Мугоджарах на р. Улы-Талдык. В этом же разрезе есть небольшая пачка касимовских известняков верхнего карбона (Чувашов и др., 1984).

Раннепермских морских отложений на территории восточного склона нет, но в поздней перми были зафиксированы два эпизода проникновения морских отложений, сводная характеристика которым дана Б. И. Чувашовым (2000). Одна трансгрессия может быть связана с казанским морем Русской платформы, язык которого через Прикаспийскую впадину достигал широты. г. Челябинска. Второй узкий залив Тетического моря, по возрасту относящийся к терминальной части поздней перми, достиг широты оз. Айке в Северном Казахстане. Маломощные отложения этих трансгрессий – самые молодые палеозойские отложения на восточном склоне.

В триасе на восточном склоне произошел рифтогенез, с образованием серии субмеридионально ориентированных угленосных грабенов, из которых наиболее полно изучен Челябинский грабен. Серия грабенов простирается на восточном склоне Урала до р. Северная Сосьва, где давно известен Северососьвинский грабен. Под тем же названием недавно обстоя-

тельно описана (Федоров, 2005) аналогичная тектоническая структура, расположенная в 100 км восточнее, определенно относящаяся к территории 3С. Отметим, что триасовый рифтинг не проявился на западном склоне Урала, развитые там локально на северном и южном флангах Приуралья мощные континентальные толщи триаса являются результатом денудации остаточных гор Палеоурала.

Раннеюрские континентальные отложения, местами угленосные, локально развиты на восточном склоне Урала. На Приполярном Урале на р. Северная Сосьва имеются хорошие выходы верхней юры, но эти отложения являются уже принадлежностью Западно-Сибирской плиты.

Принятая граница Урала и Западной Сибири лучше всего обозначена на юге в районе Кустанайского вала.

На территории Западной Сибири наиболее полно изученный стратиграфический интервал палеозоя — верхний силур — нижний карбон. В этом отрезке геологической истории наибольшая информация имеется по девонской системе (Краснов, 2007; Дубатолов, Краснов, 1999а, б; Чувашов и др., 1985; Чувашов, Яцканич, 2003). Для всего девона можно отметить полное единство девонской биоты восточного склона и большей части Западной Сибири. В восточном обрамлении Западно-Сибирской плиты в девоне, на фоне преобладающей «уральской» фауны, брахиопод, появляются новые таксоны.

Раннекаменноугольные карбонатные отложения визейского яруса довольно широко распространены на территории ЗС. Большей частью эти отложения датированы фораминиферами, которые практически не отличаются от уральской ассоциации этих организмов. На востоке ЗС, вблизи границы с СП, изучен комплекс раннекаменноугольных брахиопод, среди которых есть уровень с такими характерными представителями европейской биоты, как *Striatifera*. Брахиоподы этого же рода установлены и в разрезе Таймыра. Эти факты позволяют считать, что периодами устанавливались такие экологические обстановки, что стриатиферы мигрировали через пространство Западной Сибири далеко на восток и северо-восток.

Периодами на территории 3С в раннем карбоне возникали условия для формирования органогенных построек. На данный момент известны два района с рифоподобными структурами этого возраста, один из которых - Щучьинский выступ (Антошкина, 2003), другой — Новомостовская постройка в 150 км северо-западнее Шаима.

Наиболее молодыми морскими каменноугольными отложениями 3С надо считать раннебашкирские отложения на юге Тюменско-Кустанайского прогиба (Богуш, Юферев, Бочкарев, 1965). Этот язык кратковременной трансгрессии происходил с юга, из Казахстана, о чем свидетельствует своеобразный комплекс фораминифер.

Переходный тектонический комплекс отложений от фундамента к плитному этажу в 3С представлен красноцветными терригенными наземными образованиями, наиболее полно изученными на юге Тюменско-Кустанайского прогиба. В состав комплекса входят позднекаменноугольные и нижнепермские отложения мощностью до 1,5 км. Сводка по этим, до сих пор слабо изученным породам для всей территории представлена в работе (Чувашов, 1979).

Западная граница ЗС мегабассейна проведена условно по рубежу между Тюменско-Кустанайским прогибом и окраиной Магнитогорской мегаструктуры. Этот рубеж удобен для современной тектоники, но если спуститься на уровень палеозоя, то он отражает только границу между блоками с разной историей вулканизма и осадконакопления. Единство палеотектонической истории восточного склона Урала и Западной Сибири, до формирования плитного этажа, подтверждается эпизодом грандиозного триасового рифтинга на Восточном Урале и Западной Сибири.

Западная граница Западно-Сибирского бассейна в тектоническом отношении должна определяться для конкретных возрастных интервалов. До триаса, а может быть, и до средней юры включительно восточный склон Урала и фундамент ЗС составляли единое целое – систему блоков, одни из которых служили районами седиментации двух типов: на мелководных блоках формировались карбонатные платформы, примером, которых могут служить Новопортовская, Ханты-Мансийская, Кустанайская территории Западной Сибири. На восточном склоне Урала наиболее близким аналогом этих территорий является Североуральский бокситоносный комплекс карбонатов (верхний силур — фран), территории, примыкающие к гг. Челябинск и Каменск-Уральский (верхний силур — девон). Другие, менее распространенные блоки представляют собой районы накопления терригенных образований того же или близкого интервала, с участием вулканогенных пород или без них.

Наиболее ярким примером сочленения таких блоков является район г. Североуральска, где рядом с мощной толщей карбонатов присутствует такой же по возрасту комплекс более глубоководных отложений турьинской серии силура — нижнего девона, до эмса, включительно. В нем присутствуют аргиллиты, превращенные в сланцы, мергели, известняки разного типа, в том числе и детритовые, с разнообразными органическими остатками, вулканогенные породы и туфы. Без сомнения, можно предполагать существование и участков денудации, т. е. тектонических блоков островов. Этот набор структур можно распространить на западную часть Западно-Сибирского палеозойского бассейна.

Нюрольская тектоническая зона, расположенная в центре бассейна, представляла собой территорию с наличием более глубоководных, конден-

сированных образований палеозоя, что можно трактовать как начало формирования этой грандиозной депрессии.

Северная граница ЗСМБ ограничивалась побережьем Карского моря, что правильно для современной ситуации. Геолого-геофизические исследования (Кулаков, 1984) показали, что на дне Карского моря выделяются все комплексы фундамента ЗС плиты от архея до пермо-триаса и далее мезокайнозоя. Аналогичную картину мы имеем и на южном ограничении Западной Сибири в Туранской плите, фундамент которой содержит полный комплекс пород от архея до карбона, переходный этаж здесь также представлен пермскими и триасовыми с участием нижней юры отложениями. Средняя и верхняя юра начинают плитный этаж.

Приведенные сведения показывают, что высказанные ранее (Gamilton, 1974) представления об океанической природе ложа мезокайнозойского седиментационного бассейна, подхваченные многими советскими геологами, являются необоснованными. Равным образом, придется отказаться и от мифического Казахского континента, ударами которого был создан Палеоурал. Новые сведения о том, что в глубоководной части Северного Ледовитого океана обнаружены мелководные образования (1984), только дополняют реальную картину формирования ЗСМБ.

Восточная граница Западной Сибири до сих пор остается проблематичной. Неопределенность объясняется ограниченными сведениями по строению глубокозалегающих протерозойско-раннепалеозойских отложений Западно-Сибирской плиты. Сведения по кембрийским отложениям, полученные в результате бурения группы скважин «Восток 1-4», дают некоторые основания для смещения западной границы Сибирской платформы на запад. Подобно восточной окраине ВЕП некоторая часть СП может быть вовлечена в дислокации.

Сибирская платформа (СП) с юга окружена подвижными дислоцированными поясами докембрия и палеозоя, с запада к Сибирской платформе примыкает Западно-Сибирская плита, которая на юге смыкается с аналогичной по возрасту Северо-Туранской плитой. С юга СП граничит с подвижными поясами докембрия и палеозоя, а на востоке к ней примыкает обширный пояс мезозойской подвижной зоны. Северная граница Сибирской платформы в настоящее время принимается по побережью Таймыра, но при дальнейшем изучении дна Северного Ледовитого океана (СЛО) может быть расширена для палеозоя и раннего мезозоя.

История Сибирской платформы в некоторых отношениях сходна с развитием ВЕП, особенно на ранних стадиях развития, но есть и различия. Архейский фундамент СП — более древний: породы Алданского щита имеют возраст 4,4 млрд лет. Формирование СП происходило по сходному с ВЕП сценарию: в архейском основании ранне- и позднепротерозойские

вулканогенно-осадочные отложения занимали рифтовые структуры, постепенно расширяя сферу их распространения по мере омоложения пород. Следовательно, протерозой можно считать переходным комплексом, а венд — началом формирования плитного этажа. На этом, пожалуй, и кончается сходство двух платформ.

Венд СП на большей части ее территории слагается карбонатными известняково-доломитовыми отложениями в отличие от терригенных отложений этого подразделения на ВЕП.

В отличие от ВЕП, где кембрийские отложения представлены только на небольшом пространстве Ленинградской области и Прибалтики, на территории СП они занимали значительные площади. В отложениях распознаются все ярусы этой системы. На юго-западе платформы кембрийские лагунные отложения содержат мощные толщи эвапоритов.

Ордовикская и силурийская история ВЕП и СП также различны: обе системы, представленные, главным образом, карбонатами, занимают обширные территории СП, а на площади ВЕП эти породы, представленные также большей частью известняками, занимали небольшие участки на западе и в Приуральской части платформы.

Некоторое сходство ВЕП и СП имеют по раннедевонской истории, на обеих платформах господствовал континентальный режим, но по фациальным особенностям эти отложения — разные. На ВЕП это были преимущественно речные пески, а на СП в глубоких грабенах накапливались терригенные толщи, близкие по типу к «древнему красному песчанику» Великобритании. Сходные с этим типом образования на ВЕП есть только на территории прибалтийских государств.

В среднем и позднем девоне практически вся территория ВЕП была залита морем, эпизод тектоно-магматической активизации, описанный выше, является особенностью только для ВЕП. На территории СП в районе северо-востока, примыкающем к бассейну р. Оленек, есть средне- и верхнедевонские морские отложения, на остальной части СП установился континентальный режим с образованием обширной суши Ангариды.

Наиболее четко Ангарида, окруженная каменноугольными морями, проявляет себя в карбоне. Наиболее примечательны для этой платформы отложения Тунгусской синеклизы. Здесь огромная территория была занята угленосными и вулканическими породами пермской системы, которые перекрываются туфогенно-вулканогенной толщей континентального триаса. Пермские и триасовые отложения выделяются под названием Тунгусской серии угленосных пород и траппов. Суммарная мощность этих образований достигает 1200 м. Такая величина названа для центральной части синеклизы, на краях структуры мощность значительно сокращается. Трапповый комплекс эффузивов является уникальным образованием для палеозоя

– раннего мезозоя России. Полные разрезы морских триасовых терригенных отложений имеются на северо-востоке Сибирской платформы. На ВЕП этот период характеризуется абсолютным преобладанием наземных осадков.

Алмазоносные трубки взрыва широко распространены на северовостоке Сибирской платформы. Ранее считалось, что они являются по возрасту триасовыми. К настоящему времени возраст их расширен до карбона и девона. В южной половине СП в континентальных отложениях разного возраста известны находки россыпей алмазов.

Довольно большие пространства на территории СП занимают преимущественно наземные, часто угленосные отложения юры и мела. Напомним, что на ВЕП юрская трансгрессия развивалась медленно, и в полной мере эти отложения представлены в Приволжской части территории. Трансгрессии юрского моря на платформу происходили одновременно с юга и севера. Считается, что наиболее глубоководная часть юрского моря достигала 150 м. Обилие и разнообразие биоты этого времени дает основание для заключения о тепловодном бассейне. Этот вывод подтверждает и наследующее море мелового периода, в сложении которого на территории Украинского щита большая роль принадлежит писчему мелу. Чехол, образованный палеогеновыми и неогеновыми отложениями на обеих платформах, незначителен по мощности и развит локально.

В четвертичное время обе платформы подверглись оледенению. Этот период геологической истории, завершившийся 10 000 лет назад, очень полно изучен для ВЕП, где установлена серия ледниковых периодов и более теплых межледниковых интервалов.

Хуже изучены отложения ледникового периода на СП, но от этого периода СП получила обширный и мощный слой вечной мерзлоты.

СП с юга ограничивается продолжением Урало-Монгольского подвижного пояса, в который включаются Саяно-Енисейская, Байкало-Патомская, Баргузино-Витимская «складчатые» системы (Смирнова, 1984). Этим системам свойственна палеогеново-четвертичная тектономагматическая активизации.

На территории России находится уникальный объект мезозойского орогенеза — Верхояно-Чукотская складчатая система, с юга к ней примыкает Корякско-Тайгоносская система. Этот пояс на юге замыкается Сихотэ-Алинской и Монголо-Охотской складчатыми системами. В настоящее время последний ороген относят к герцинидам или определяют под названием герцинско-раннемезозойской системы. Отметим, что в Верхояно-Чукотской складчатой зоне хорошо выражен предгорный прогиб.

Для территории северо-востока примечательной структурой является окраинный вулканический пояс, отделяющий консолидированные Верхоя-

но-Чукотскую и Сихотэ-Алинскую складчатые зоны от прибрежных морей Тихого океана. Возраст вулканитов определен в интервале мел (апт) — палеоген. К молодым (альпийским) островным дугам относятся Камчатско-Олюторская система и Курильские острова.

Наиболее типичной структурой Альпийского орогенеза является Кавказская система.

В заключение этого краткого обзора региональной геологии России остановимся на некоторых наиболее важных спорных моментах интерпретации геологического строения и истории развития нашей обширной территории (npun. 8).

1. Периодизация орогенеза остается достаточно спорной, особенно на начальных стадиях образования осадочного чехла, главного источника достоверной информации. Следует обратить внимание на широко известный факт, что первые предгорные прогибы, т. е. горообразование с участием горизонтальных напряжений, устанавливаются только с варисцийского (или герцинского) орогенеза. Но и это событие в действительности не является одновременным.

В работе (Чувашов, 2001) приведено сравнение разрезов Арденн и Урала, в которых очевидно существенное расхождение начала орогенеза, хорошо подтвержденное палеонтологическим материалом: в Арденнах, на р. Маас в Бельгии прекращение карбонатного осадконакопления произошло в серпуховское время.

На Урале в большинстве изученных разрезов обоих склонов Урала это событие происходит в первой половине башкирского века. Для западного склона Приполярного Урала некоторыми геологами начало варисцийского орогенеза определено концом раннего карбона. Надо принимать во внимание, что даже в близлежащих разрезах (например, на р. Миасс у с. Большое Баландино и у пос. Солнечный), расстояние между которыми около 12 км, время начала орогенеза различно. В первом случае орогенез можно датировать второй половиной башкирского века, у пос. Солнечный весь башкирский ярус представлен карбонатами.

Обычно считается, что варисцийский орогенез продолжался со среднего карбона до конца перми. На основании развития Предуральского прогиба показано, что процесс альпинотипного орогенеза закончился в соликамское время кунгурского века (Чувашов,1999). В поздней перми и в триасе орогенез проходил по сценарию германотипной тектоники. Последний эпизод альпинотипного орогенеза состоялся в ранней юре. Этот факт был отмечен В. Д. Наливкиным (1943) на примере Челябинского грабена. Впоследствии на более обширном материале это событие было подтверждено А. Т. Расуловым (1989).

2. Что же происходило в доварисцийское время?

Первым исследователем Урала, кто высказал свое недоумение, не обнаружив признаков каледонской складчатости, был Д. В. Наливкин (1943). Позднее Г. А. Смирнов (1967) оказался в таком же положении, не найдя следов фазы складчатости на границе девона и карбона. Его попытка связать образование флишоидной зилаирской серии с фазой орогенеза на этой границе и выявить предгорный прогиб была явно неудачной. В этом же плане развернулась относительно недавняя дискуссия по поводу докембрийской кадомской складчатости, причем аргументация в пользу вывода об ее отсутствии была более убедительной (Русин, 2000).

- 3. Все эти факты, а также приведенный в учебниках материал о байкальском, салаирском и каледонском орогенезе в разрезах южного обрамления Сибирской платформы, где не прослеживаются предгорные прогибы, дает основание для предположения, что на этой обширной территории орогенез проходил по законам германотипной тектоники.
- 4. Сочетание орогенезов этих типов свойственно орогенам Центральной, Западной и Южной Европы. О Боливийских Андах (Альфельд, 1984) так сказано в указанной книге: «Анды Боливии в геотектоническом отношении резко отличаются от других гор, например Альп. Поднятие Анд осуществлялось в виде системы блоков, перемещавшихся вдоль больших вертикальных разломов...Таким образом, горное сооружение Анд создано не сильной складчатостью, а лишь эпейрогеническими движениями пульсационного характера. ... Такой тектонический стиль называется андийским (или германотипным) в отличие от альпийского» (с. 23-24). С учетом всего сказанного, история развития Уральского орогена по принципу чередования разных типов орогенезов (что снимает многие несоответствия с принятыми реконструкциями палеотектоники Урала и других орогенов России) представлена в *табл. 6.1*.

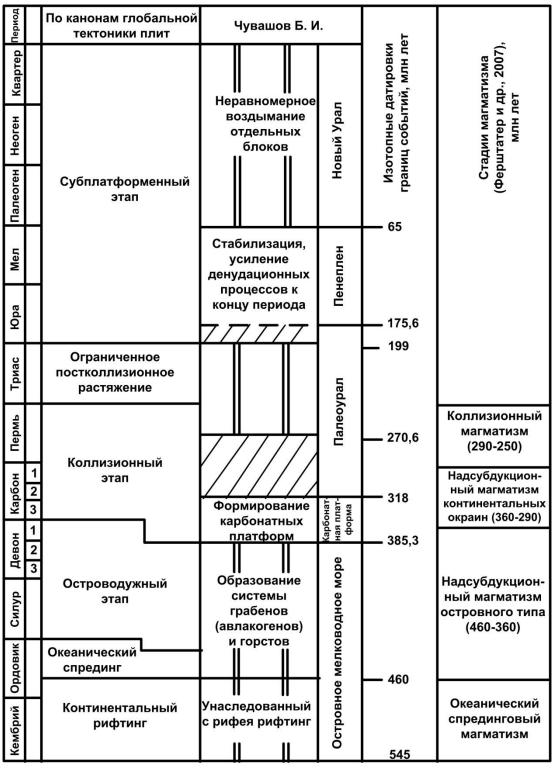
Литература

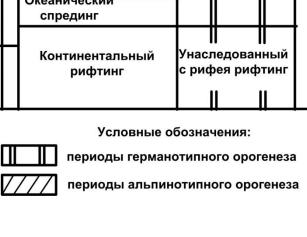
Богоявленская О. В., Пучков В. Н., Федоров М. В. Геология СССР. М.: Недра, 1991. 240 с.

Родыгин А. И. Геология России и сопредельных районов. Томск: Изд-во Томского университета. 2006. 375 с.

Смирнова М. И. Основы геологии СССР. М.: Высшая школа, 1984. 384 с.

Таблица 6.1 История развития Уральского орогена





7. ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Общие сведения

Геологическим телам присуща отчетливая иерархия в их строении и размерах. Во многом ее проявление обусловлено свойством эмерджентности (от лат. emergo — появляюсь, возникаю), заключающимся в несводимости свойства целого к сумме свойств частных, т. е. элементов, составляющих систему (maбn. 7.1).

 Таблица 7.1

 Ранговая шкала геологических тел в нефтегазовой литологии

Уровни органи-		Объекты (геоло-	Инварианты	Эмерджентное свойство
зации		гические тела)	седиментогенеза	(свойство целого, не сводимое
группа	ранг		(СГ)	к сумме свойств слагающих элементов)
Структур- но-форма- ционная	6	Формационные комплексы; осадочные бассейны		SNC. NCIII O B)
	5	Формации		Единство геотектонических условий и палеогеографической обстановки
	4	Наборы пород: литоциклы (цик- литы)	ЦиклоСГ	Направленность смены типов пород и их комплексов
Минерально- петрографи- ческая	3	Слои ≈ пласты;	СтратоСГ	Простая повторяемость ограниченного набора слойков
		Породы	ГранулоСГ	Устойчивое сочетание частиц и минералов
	2	Минералы		
	1*	Молекулы		

^{*} Справочно, поскольку собственно геологическими телами они не являются.

Из приведенных сведений отчетливо следует особое место, отводимое формациям – естественным комплексам геологических тел, сформировавшихся в единстве тектонического режима и палеогеографической обстановки. В то же время соотношение структурно-тектонических, стратиграфических, генетических (и пр.) таксонов далеко не всегда одинаково сопоставляется с формационным расчленением, что показано на рис. 7.1.

Колонка	Категории понятий						
Kononka	вещественные	стратигра- фические		структурные		генетические	
	Геологичес- кая формация	Свита		Часть структурного этажа		Генетический тип	
	Геологичес- кая формация					Совокупность генетических типов	
	Геологичес- кая формация	Серия	Свита	Структурный этаж	Часть этажа	Генетический тип	
	Геологичес- кая формация		Свита		Часть этажа	Совокупность генетических типов	
	Геологичес- кая формация	Свита		Структурный этаж		Совокупность генетических типов	

Рис. 7.1. Соотношение понятий, используемых при характеристике толщ, по (Цейслер, 2002)

Это исторически привело к нескольким направлениям формационных исследований — генетическому (фациальному), парагенетическому (структурно-вещественному), тектоническому, стратиграфическому и целевому (минерагеническому).

Путь индуктивного (от лат. inductio — наведение, т. е. логическое умозаключение от частных случаев к общему выводу) установления формации, заключающийся в последовательном изучении осадочных толщ от пород с их принципами до комплексов обстановок, предложенный еще в 1948 г. известным отечественным геологом Ю. А. Жемчужниковым, приведен на *рис.* 7.2. Именно он, в отличие от дедуктивного (от лат. deduction — выведение, т. е. логическое умозаключение от общего к частному), наиболее продуктивен в геологии, где фактические наблюдения не могут быть проверены экспериментально.

Фациальный анализ – необходимая база формационных исследований

Понятие фация (от лат. fasies – лицо, облик) – одно из самых запутанных, в том числе самых необходимых в осадочной геологии. Впервые оно использовано швейцарским геологом Аманцем Грессли (A. Gressly) в 1838 г. при описании юрских отложений в Альпах. При этом им сразу же совершен «первородный грех» (по выражению Н. Б. Вассоевича), заключа-

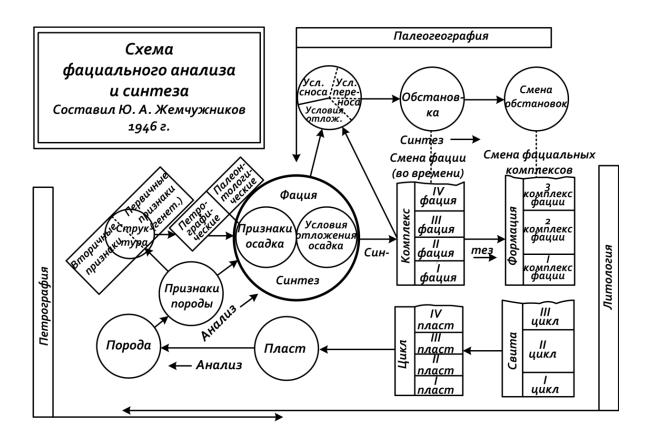


Рис. 7.2. Последовательность в изучении осадочных пород

ющийся в неоднозначной трактовке данного понятия. Наиболее употребительными являются два понимания фации: 1) условия или обстановка осадконакопления (от англ. environment), то есть чисто субъективная субстанция, не проверяемая по своей сути; 2) непосредственно геологическое тело с комплексом только ему присущих признаков, по которым с той или иной степенью субъективности реконструируются условия осадконакопления. В зарубежной литературе для этой характеристики часто используется термин литофация (от англ. lithofacies), в свою очередь, близкий к отечественному определению литогенетический тип — породе с комплексом присущих ей признаков.

Основой для фациальных реконструкций служит принцип актуализма (лат. actualis – действительный, настоящий). В геологии – это сравнительно-исторический метод, наиболее детально разработанный Н. М. Страховым, согласно которому, изучая современные геологические процессы, можно судить об аналогичных процессах, протекавших в прошлом (естественно, с уменьшением степени достоверности по мере увеличения времени). Представления о современных обстановках осадконакопления приведены в *табл.* 7.2. Поскольку они являются ландшафтами (от нем. landschaft – природный географический комплекс), то фации «древних отложений» полностью соотносимы с понятием *палеоландшафтных* единиц.

Таблица 7.2 Основные обстановки накопления терригенных осадков (по (Лидер, 1986; с существенными изменениями))

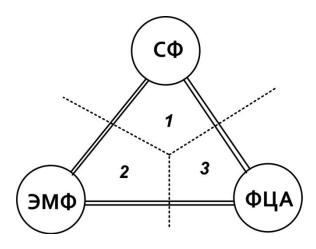
Область, ассоциация обстановок	Обстановка осад- конакопления	Субобстановки		
дия остановок	Фанлювиальная (конусов выноса)	Пролювиальные конусы выноса (проксимальная часть); шлейфы (дистальная часть); озерные водоемы в подножиях областей сноса		
Континентальная	Аллювиальная равнина	Прямолинейные, разветвленные, извилистые (меандрирующие) русла; прирусловые валы; пойменные террасы; внутрипойменные озера и старицы, в т. ч. с заболачиванием		
	Озера	Озерные террасы; побережье (приливно- отливное и баровое); конусы выноса; глубо- ководные застойные части		
Переходная	Дельты	Русла рукавов; прирусловые бары; внутридельтовые заливы; выносы (покровы) фронта дельты; бары в устьях рек; продельта (авандельта); приливная дельта (эстуарий)		
	Прибрежные заливы и лагуны	Песчаные бары и барьерные острова; застойные (защищенные от моря) тиховодные части		
	Приливно- отливная полоса	Ватты; русловые промоины; намывные косы; береговые дюны		
Прибрежно- шельфовая	Линейновытянутые побережья	Бары; приливно-отливные отмели; промоины разрывных течений; конусы намывов		
шельфовая	Шельф	Различные приливные донные формы, песчаные ленты, линейно вытянутые приливные гребни, песчаные волны, мелководные отступающие гряды, погребенное русло, уступы		

Схематично соотношение основных понятий, относящихся к фациальному анализу в нефтегазовой литологии, показано в виде треугольника (рис. 7.3), являющегося, как известно, самой «жесткой» геометрической фигурой. Не останавливаясь особо на разборе «геофизических» понятий, связанных с фациальными реконструкциями, отметим следующее. По образному выражению Ю. П. Ампилова (2008): «По вертикали сейсморазведка может дать меньше, чем нужно, а по горизонтали больше, чем требуется». В преломлении к геофизическим исследованиям в скважинах можно полагать обратное: по вертикали ГИС могут дать столько, сколько требуется, а по горизонтали – меньше, чем нужно.

Пример фациальных реконструкций по кривым ГИС приведен на *рис.* 7.4.

Рис. 7.3. Соотношение основных фациальных понятий, используемых в нефтегазовой геологии:

- СФ сейсмофация, ЭМФ электрометрическая модель фации; ФЦА фациальношиклический анализ:
- поля: 1 «образ», 2 установление фации по одному параметру, 3 то же, по комплексу признаков



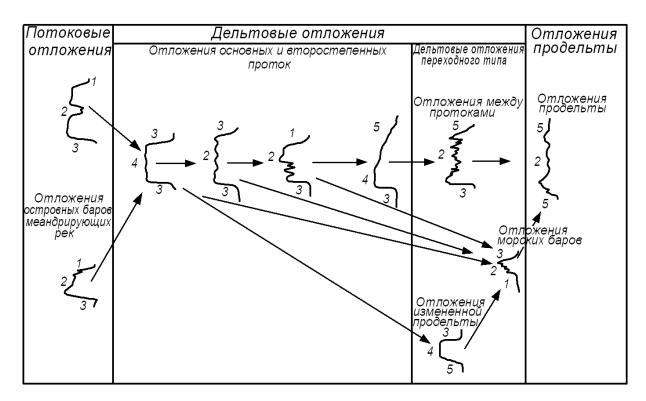


Рис. 7.4. Формы кривых ПС для отложений, образовавшихся в различных условиях (Сейта и Вишер, 1968):

1 — переходная; 2 — зазубренная; 3 — резкая; 4 — плавная; 5 — переходная зазубренная

Строение – основная субстанция осадочных формаций (общая характеристика)

Швановым В. Н. (1992) определено вещество как первая субстанция осадочных формаций и строение – как вторая. Очевидно, что первая реализуется в виде горных пород (3-й ранг в табл. 7.1), которые принято считать формациеобразующими для магматических формаций, либо фаций (см. выше). Что же касается осадочных толщ, то наличие многопорядковых

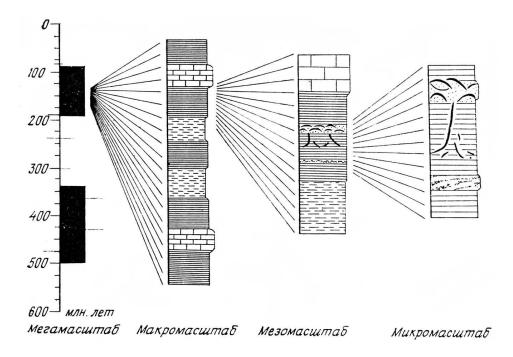


Рис. 7.5. Различные масштабы вариаций, фиксируемые в черных сланцах (Ветцель, 1985). Мегамасштабные вариации отражают длинные периоды в истории Земли с возобновлением отложения черных сланцев. Макромасштабные вариации связаны с литологическими пачками пород, которые выделяются при документации скважин глубоководного бурения. Мезомасштабные вариации проявляются в слоях пород. Микромасштабные вариации определяются слойками или тонкими слоями в пределах слоев черных сланцев

комплексов пород, слагаемых в определенной последовательности (4-й ранг в табл. 7.1), к настоящему времени сомнению не подлежит. На *puc.7.5* и *7.6* наглядно отображена их соподчиненность.

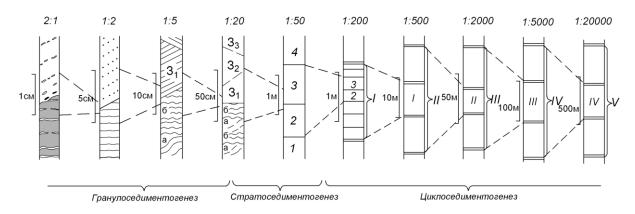


Рис. 7.6. Соподчиненность повторяемости единиц разреза (уровни седиментогенеза, по С. И. Романовскому, см. табл. 1):

основной является колонка, на которой выделены с л о и (1, ..., 4), для терригенных толщ, имеющих среднюю толщину 1-2 м. Слева от нее показаны серии косой слоистости в слое 3 $(3_1, 3_2, 3_3)$ и ритмичное чередование типов «а» и «б» в слое 2, вплоть до визуальной характеристики пород (крайняя слева колонка). Справа — литоциклы от 1-го (I) до 5-го (V) порядков

Ритмиты и циклиты

Поскольку ведущим признаком при изучении терригенных пород является размерность слагающих их частиц, то и установление тех или иных комплексов соответственно связано с чередуемостью устанавливаемых типов. Л. Н. Ботвинкиной в 1966 г. для особого текстурного типа пород, сложенных тонким чередованием двух, реже трех четко выделяющихся их типов, предложено название **ритмит**. Наиболее ярким их примером служат тонкие озерные ленточные глины – *варвы* (от швед. varve – лента). В. Н. Швановым (1992) предложено называть их *ламинитами* (англ. lamina – слоек). Типы ритмической слоистости показаны на *рис.* 7.7.

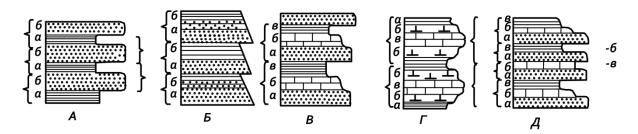


Рис. 7.7. Типы ритмической слоистости, по (Ботвинкина, 1962): $a, \, \delta, \, s$ – слои; скобками показаны выделяемые ритмы: A – простая повторяемость; $B, \, B, \, \Gamma$ – ритмическая, направленно изменяющаяся, причем B и B – прерывистая, скачкообразная (B – с постепенным переходом между слоями, B – с отчетливой сменой разных слоев внутри ритма), Γ – непрерывная, "маятниковая"; Π – неполная ритмичная (частный случай: Π), справа буквами показаны "выпавшие" слои

Формирование контрастных по размерности частиц комплексов слоев (слойков) часто связывается с проявлением т. н. редкособытийных отложений, являющихся объектом пристального внимания. Именно редкость и катастрофичность самих событий явились, как ни парадоксально, причиной того, что они широко развиты в осадочных толщах. Более того, в ряде случаев именно ими сложены значительные части разрезов, что прежде всего относится к *турбидитам*. Предложено различать (Рапке, 1978; Хеллем, 1981) два главных типа транспортировки осадочного материала, приводящего к образованию турбидитов.

- 1. Массовое гравитационное перемещение оползни с объемом до сотен кубических километров, которые могут формироваться при очень пологих уклонах дна. Осадочный материал передвигается, как правило, почти "мгновенно", когда касательные напряжения, обусловленные действием силы тяжести, превышают силы сцепления, препятствующие сдвигу.
- 2. Турбидитные потоки различной плотности (высокой для смеси песка и ила массой 1,5-2,0 г/см³). При этом образующиеся потоки по сути сходны с таковыми для обычных речных русел.

В плане турбидитные выносы обычно имеют коническую форму и встречаются на продолжении дельт крупных рек. Принято различать проксимальные (ближние) и дистальные (отдаленные) турбидиты по отношению к источнику перемещения. Соответственно изменяются размерность и сортированность отложений.

Общая схема образования «событийных» комплексов приведена на *рис.* 7.8, а строение типового турбидита, или цикла Боумы, – на *рис.* 7.9.

Упрощением отображения закономерностей в строении толщ (цикличности) в пределе (lim) являются циклиты в трактовке Ю. Н. Карогодина (рис. 7.10). Следует указать, что «ромб» в отложениях не наблюдается, поэтому все многообразие природной цикличности сводится к двум основным треугольникам — проциклиту и рециклиту, а также их комбинации в виде «песочных часов» — прорециклиту.

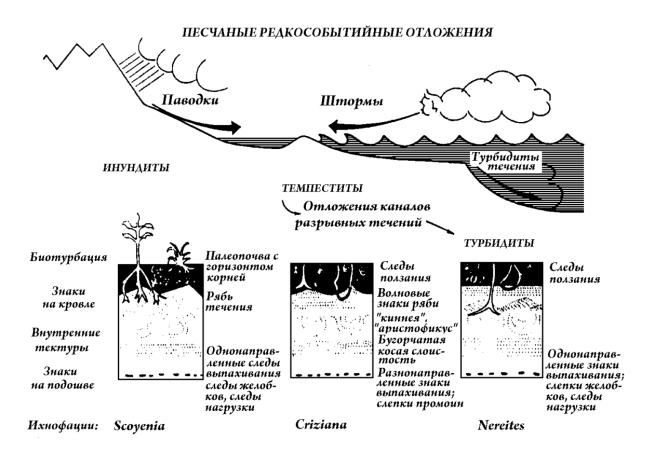


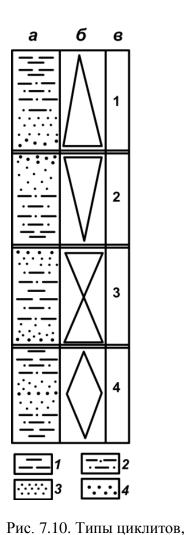
Рис. 7.8. Схема различий (пары песок – глина) паводковых, штормовых и турбидитных песчаных отложений по седиментологическим и биологическим признакам. Градационные текстуры в песчано-глинистых парах слоев сходны, по (Зейлахер, 1985)

Фациально-циклический анализ

Уже априорно определим, что в спорах между сторонниками генетического и агенетического (по большей части структурно-вещественного)

			иои r кпн и	йэнхдээ мижэЧ части птовч						
2	і тоский слой, не несущий крупных ооломков	Слой, испытывающий волновые колебания				Дюны со знаками ряби; размытые дюны	Плоский слой со следами движения зерен	хдөөө изепти		
\blacksquare	Сантиметры - первые метры							→		
Седиментационная структура	Пелагические осадки, большей частью биотурбированные	С отсутствием градации	Градационная	Весьма тонкослоистая ламинационная	Верхний слой с плоскопараллельной тонкой слоистостью	Рябь течения потоков и конволютная слоистость; диагенетические разрывы вызванные ранней силификацией	Горизонтальная тонкая слоистость (ламинация) с градационными слоями	Градационная слоистость Черепитчатость Поверхность с подошеенными знаками		
Обозначения по Пайперу	f	e ³	e ₂	ь Р	ρ	₂	q	е		
Размер зерен	Ил	Ил	Ил	ил	Ил - алеврит	Алеврит- песок	Песок	Песок		
	0 \JJ K							0.00		
Обозначения по А. Боуме	E			a	2	8	·	ζ		

Рис. 7.9. Терригенный типовой циклит А. Боумы (1962) с интерпретацией Пайпера (1985) как турбидитного многослоя. Справаинтерпретация Э. Хеллема (1981) как комплекса отложений замирающего потока



по (Карогодин, 1980) и мн. др.: a — типы пород: I — аргиллит, 2 — алевролит, 3 — тонкозернистый песчаник, 4 — грубозернистый песчаник; δ — символы циклитов; ϵ —

их названия: I — проциклит, 2 — рециклит, 3 — прорециклит ("песочные часы"), 4 — ре-проциклит («ромб»)

направлений в изучении осадочных толщ «победителей» быть не может. Исходя из этого, обозначим видение именно генетического подхода в исследованиях, как это сделано на рис. 7.11. Итерация 1 особенно четко обозначилась во время подготовки к Всероссийскому литологическому совещанию 1952 г.; об итерациях 2 и 3 упомянуто в п. 4. Дополним для итерации 3, что определения типа «...песчаник мелкозернистый...» и т. д. относятся лишь к гранулометрическому типу. Литологический тип это геологическое тело с определенным комплексом взаимосвязанных существенных признаков: конститутивных - вещественного состава, строения (текстуры), морфологии и дополнительных, индикативных - ориктоценозов, конкреций и проч.

Последней итерацией 4 мы выходим на один из видов фациального анализа. При этом различия в структурном подходе к выделению комплексов пород или циклитов и генетической (фациальной) интерпретации строения осадочных толщ иллюстрирует *рис.* 7.12.

По целому комплексу причин, для изучения сложнопостроенных толщ наиболее предпочтительным представляется фациально-циклический анализ, который разработан в 50-х гг. ХХ в. Ю. А. Жемчужниковым, Л. Н. Ботвинкиной, В. С. Яблоковым и др. на материале среднего карбона Донецкого бассейна. Его сущность изложена в лаконичной и исчерпывающей формулировке: «Детальное изучение и описание разреза в обнажении или по керну, со-

ставление литологической колонки, определение литогенетических типов и фаций, выделение циклов, составление межрайонных фациальных профилей и, наконец, построение фациальных и палеогеографических карт — таков путь анализа и обобщения материалов исследования, с постоянной взаимной, так сказать «обратной», проверкой исходных данных и предыдущих построений и выводов» (Состав и строение..., 1959). Максимально схематизированная последовательность работ приведена на *рис.* 7.13, по сути повторяющем схему, показанную на рис. 7.12.

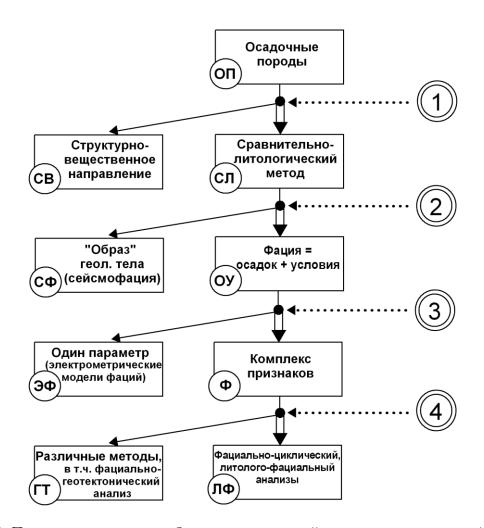


Рис. 7.11. Последовательность выбора использованной методики исследований: цифры в двойных кружках – итерации (все пояснения в тексте)

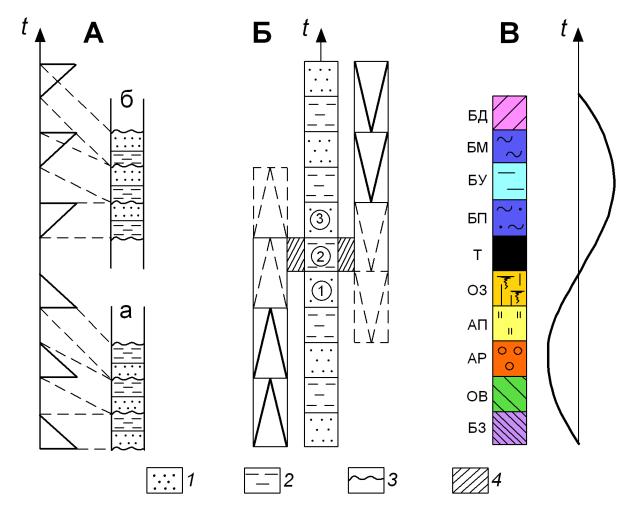


Рис. 7.12. Основные варианты циклического строения разреза и режимов циклоседиментогенеза: A — дискретного, B — последовательного несимметричного, B — последовательного симметричного (полнопостроенного):

I — относительно грубозернистые (гравелит, песчаник) и 2 — тонкозернистые (алевролит, аргиллит) породы; 3 — несогласия (для рис. А); 4 — «переходный» слой (для рис. Б); обозначения к колонке на рис. В — макрофации: Б3 — отложений заливно-лагунного побережья, ОВ — отложений открытых озерных водоемов, АР — русловых и АП — пойменных отложений речных долин, ОЗ — отложений застойных и заболачивающихся озер, Т — отложений торфяных болот (угли), БП — отложений прибрежного малоподвижного бассейнового мелководья, БУ — отложений наиболее удаленной части бассейна, БМ — отложений открытого подвижного бассейнового мелководья, БД — отложений подводной части дельты

Корреляция отложений и закон Головкинского

Корреляция отложений (от лат. correlatio – соотношение) – важнейший этап при изучении осадочных толщ. Она выполняется на геологических разрезах разного масштаба и детальности, определяемых поставленными целями. Как правило, вертикальный соответствует масштабу записи кривых ГИС (1:500) и может быть как увеличен (1:200), так и существенно

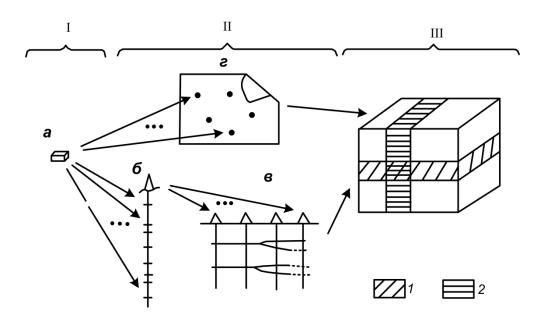


Рис. 7.13. Последовательность литолого-фациальных исследований. Пояснения в тексте: I — подформации; 2 — градации

уменьшен для «первой пристрелки» корреляции до 1 : 5 000. Горизонтальный масштаб определяется расстоянием между скважинами и шириной самих колонок. Чаще всего он составляет 1 : 2 000 ÷ 1 : 10 000; нередко колонки скважин могут быть расположены на равных условных расстояниях, т. е. вне масштаба. Это определяется главной задачей построения таких разрезов — показа высокой разрешающей способности при использовании ГИС. Обычно выбирается наиболее однозначно увязываемый участок месторождения. Рядом с колонкой скважины изображаются (копируются с диаграмм) основные кривые, используемые для корреляции, — практически всегда это кривые методов стандартного комплекса.

Процесс построения разрезов определяется общей схемой, показанной на *рис*. 7.14. При этом следует иметь в виду неизбежное скольжение литологических границ при миграционном типе слоенакопления, в соответствии с законом Головкинского (фациальные разновидности осадочной породы любого бассейна седиментации сменяются по стратиграфической вертикали в том же порядке, как и по горизонтали). Последнее иллюстрирует *рис*. 7.15.

С учетом фациальной изменчивости отложений (принцип Грессли) и скольжения слоев (закон Головкинского), лучшие результаты при корреляции, особенно изменчивых толщ, показывает именно фациальноциклический анализ.

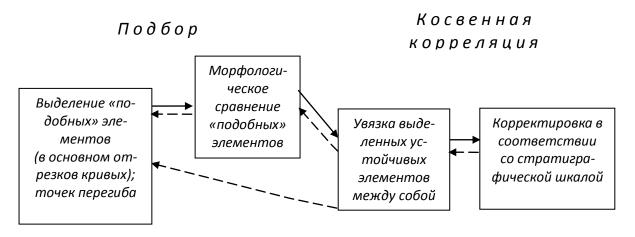


Рис. 7.14. Последовательность операций при корреляции отложений

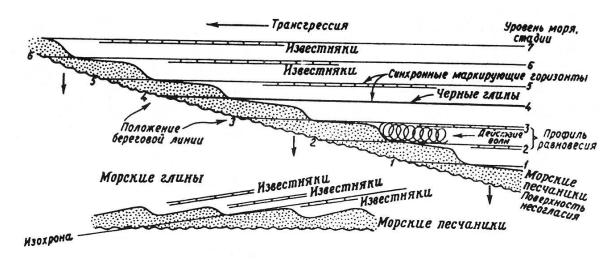


Рис. 7.15. Циклическое (прерывистое) прогибание бассейна при обильном поступлении песка и ила (по Д. Бушу, 1977)

Песчаник залегает на поверхности несогласия в виде сплошного мощного покрова. Террасированная верхняя поверхность песчаной толщи образовалась в результате эрозионного действия волн в периоды, когда уровень моря не изменялся

На рис. 7.16 показана корреляция отложений посредством сопоставления литоциклов. Слева, в колонке А, наблюдается аллювиальнолагунный ЛЦ с угольным пластом в нейтральной части; в колонке Б дельтово-морской, имеющий в нейтральной части отложения болот, завершающих регрессивную часть ЛЦ; справа, в колонке В, — ЛЦ, сформировавшийся целиком в морской обстановке. И, несмотря на почти полное различие не только в породах, но и в фациях, эти три разреза легко сопоставляются, так как по вертикали в каждом из них видна одна и та же направленность изменения фаций — сначала регрессивная (р), затем трансгрессивная (т).

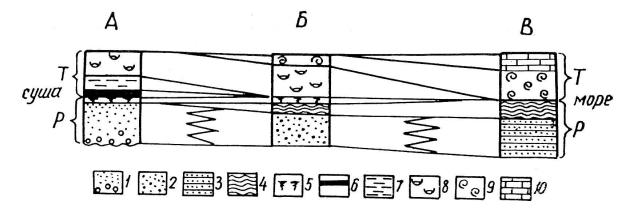


Рис. 7.16. Сопоставление литоциклов, различных по фациальному составу в разных пунктах наблюдений, по (Ботвинкина, 1962):

A — частично на суше; B — переходная обстановка; B — условия открытого моря; песчано-алевритовые отложения: I — аллювиальные, 2 — подводной части дельты, 3 — морские зоны течений, 4 — морские зоны волнений; 5 — почвенные образования со следами корней растений; 6 — отложения торфяного болота (угольный пласт); алевритоглинистые отложения: 7 — озерные, 8 — лагун, 9 — морские; 10 — карбонатные морские отложения (известняк)

Собственно формационный анализ

В предыдущих разделах нами использован индуктивный путь к установлению формаций. В целом он может быть весьма продуктивным для многих осадочных бассейнов, в которых «обычная» или «бассейновая» стратиграфия стоит на тупиковом направлении развития. Это происходит из стремления к расчленению толщи на свиты, которые имеют одинаковый или близкий набор гранулометрических типов пород. В результате, например, для Западно-Сибирского бассейна только для юрско-неокомских отложений их количество достигло нескольких десятков, а отчетливое скольжение неокомских клиноформ по закону Головкинского (см. прил. 7) ставит «бассейновую» стратиграфию перед нерешаемой обычным путем проблемой. Существенный выход из этой кризисной ситуации видится в бурно развивающемся научном направлении – сейсмостратиграфии или секвентной стратиграфии (от лат. sequentia - следование; от англ. sequence – последовательность геологических событий, процессов или толщ пород, расположенных в хронологическом порядке; неформальная литолого-стратиграфическая единица). Ее принципы заложены на признании эвстатических колебаний уровня Мирового океана, определяющих эпохи трансгрессии и регрессии отложений (рис. 7.17).

Общие принципы секвентной стратиграфии, заимствованные из учебного пособия Р. Р. Габдуллина и др. (2008), в предельно сжатом виде показаны в *табл.* 7.3 (характеристика обстановок осадконакопления) и на *рис.* 7.18 (основные соотношения секвенсов). На *рис.* 7.19 показано выделение секвенсов под названием «вэйлитов» – от фамилии ученого П. Вэйла,

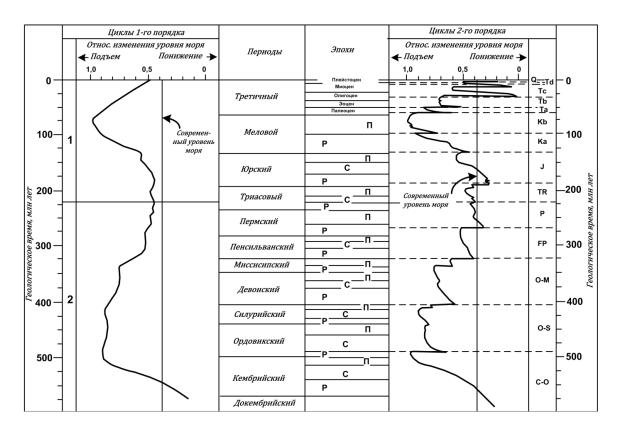


Рис. 7.17. Глобальные циклы относительного изменения уровня моря первого и второго порядков в течение фанерозоя. Р – ранняя, С – средняя, П – поздняя эпохи. По (Vail P. R. e. a., 1977): Сейсмическая стратиграфия, 1982

предложившего эвстатическую кривую (см. рис. 7.17) — для неокомских клиноформ Западно-Сибирского бассейна, общее положение которых показано в прил. 10.

Таблица 7.3 Примеры обстановок седиментации, по (Emery, 1996)

Тип тренда	Интерпретация кривых каротажа	Примеры седиментационных обстановок
5	Проградация	Эоловое и флювиальное выполнение разветвленных отливных каналов, выполнение подводных каньонов, край карбонатного шельфа, эвапоритовый бассейн
4	Ретроградация	Скошенные расселины, устьевой береговой вал, фронт дельты, прибойная полоса, лопасть подводного конуса, смена кластического материала на карбонатный
3	Агградация	Флювиальный и приливной бары, выполнение каналов глубокого прилива, приливная равнина, трансрессивный шельф
2	Проградация и ретро- градация	Перемытый прибрежный вал (отмель, бар), регрессивные до трансгрессивных береговые дельтовые фации
1	Агградация	Заливная терраса, штормовый шельф, дистальный глубокий склон

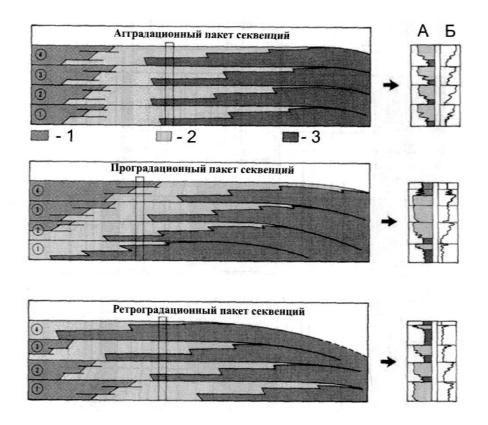


Рис. 7.18. Соотношение пакетов секвенций и вида кривых потенциала самопроизвольной поляризации $\Pi C(a)$ и электроразведки методом сопротивления $KC(\delta)$: I — мелководные песчаники; 2 — песчаники и мадстоуны переходной зоны; 3 — мадстоуны открытого моря, по (Van Wagoner et al., 1990)

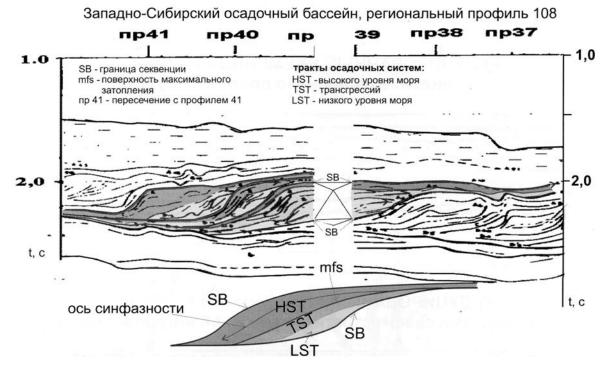


Рис. 7.19. Пример выделения «вэйлитов» и их составных частей на сейсмическом разрезе через Западно-Сибирский мегабассейн (Шлезингер, 2004)

В плане изложенного весьма продуктивным выглядит предложение Ю. Н. Карогодина (2000 и др.) о целесообразности использования понятия «формация» в стратификационных целях. Для юрско-неокомских отложений Западной Сибири их будет всего пять (снизу вверх): заводоуковская (тюменская), абалакско-васюганская, баженовская, мегионская (мегионско-усть-балыкская) и вартовская. Привычный и внедрившийся термин "свита" можно оставить в понятийно-терминологической базе стратиграфии в ранге субформации. Возрастное скольжение границ свит, как и у формаций, не должно ограничиваться каким-либо диапазоном, как это и принято за рубежом

Что же касается **дедуктивного** пути, то основные или главные признаки, определяющие выделение формаций и их взаимосвязь в геологическом пространстве, могут быть разделены на две большие группы.

І. Внутренние признаки.

К ним относят следующие:

- 1. Набор слагающих пород (основные петрографические типы, их вещественный состав, включая окраску, фациальная характеристика). Выделяются, соответственно, алюмосиликатные (часто именуемые терригенными), карбонатные, галогенные, кремнистые, силицитные и углеродистые; сероцветные и красно(пестро)цветные; лимнические, потамические (аллювиальные) и паралические типы, а также многочисленные их разновидности.
- 2. Строение толщи. В настоящее время начинает преобладать мнение о том, что формации слагаются телами не горнопородного, а надгорнопородного уровня (см. табл. 7.1). Однако построение классификаций формаций по данному признаку дело будущего, требующее вначале установить типовые единицы разрезов как, например, цикл Боума для простопостроенных толщ, сложенных различными гравититами). Среди широко употребляемых терминов, обозначающих комплексы пород, наиболее укоренились понятия флиш (от нем. flissen течь), с характерным по строению набором разных петрографических типов пород, и моласса (от фр. mol мягкий) слабопереработанный комплекс активно накапливавшихся разнородных пород. Промежуточное положение между ними занимает шлир, отвечающий состоянию, почти всегда связанному с дельтовой обстановкой осадконакопления, и детально описанный В. Т. Фроловым (1983).
- 3. Индикационные признаки иногда минералогические (глауконитовые формации), чаще второстепенные по объему, но важные по значению полезные ископаемые (угленосные, меденосные, ураноносные и др. формации).
 - *II. Внешние признаки.*

К основным внешним признакам относят следующие:

1. Форма тела формации, ее площадь и мощность (морфометрическая характеристика).

- 2. Геоструктурное положение как в генетическом отношении (что нередко очень трудно определить в связи с конвергентностью многих типов), так и в структурном плане, наблюдаемом при современном картировании.
- 3. Взаимосвязь с другими формациями по площади (палеогеографическая сопряженность) и по разрезу (стратиграфическая приуроченность): латеральные и вертикальные ряды формаций.
- 4. Степень вторичных изменений, особенно важная для монотонных по составу и больших по мощности толщ, подвергшихся интенсивной переработке.

В зарубежных работах близким к определению формации является понятие литологическая ассоциация (рис. 7.20). Перечень наиболее характерных и распознаваемых литологических ассоциаций, по сути идентичных формациям, выглядит следующим образом:

- угленосная; красноцветных пород; соленосная; кварцевых песчаников; известняковая, с субформациями:
- барьерно-рифовая;
- оолитовых и органогенно-обломочных известняков;
- покровных известняков; кремнистых пород; аргиллито-мергельная;
- флишевая.

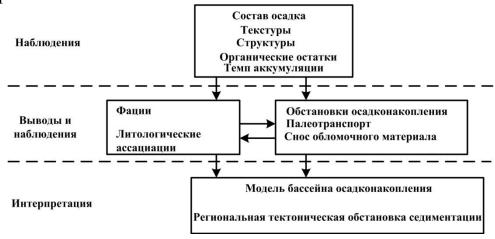


Рис. 7.20. Последовательность наблюдений, выводов и интерпретации при анализе бассейна осадконакопления (Седиментология, 1980)

Литература

Цейслер В. М. Формационный анализ: учебник. М.: Изд-во РУДН, 2002. 186 с.

Чернова О. С. Литолого-фациальный и формационный анализ нефтегазоносных толщ: учебное пособие по короткому курсу. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2007. 250 с.

Шванов В Н. Структурно-вещественный анализ осадочных формаций (начала литомографии). СПб.: Недра, 1992. 230 с.

8. ОСАДОЧНО-ПОРОДНЫЕ БАССЕЙНЫ

Всестороннее изучение осадочных бассейнов несомненно относится к приоритетным направлениям в геологии последних десятилетий. Это во многом обусловлено наличием в них многих полезных ископаемых, и прежде всего – горючего ряда (нефть, газ, уголь)

Тектонические структуры и осадконакопление

Взаимосвязь процессов формирования крупных осадочных последовательностей и структур континентальной коры интересует геологов уже более двух веков. Наиболее ранняя попытка связать деформации коры с процессами осадконакопления принадлежит американскому геологу Д. Холлу, считавшему в середине XIX в., что процесс погружения и прогибания коры, обусловленный весом формирующихся в прогибе осадков, ведет в последующем к складкообразованию и метаморфизму. Несколько позднее Д. Дэна высказал предположение, что погружение Аппалачского геосинклинального пояса и последующая орогения были вызваны латеральным сжатием, обусловленным движением дна океана по направлению к континенту.

В Европе идеи североамериканских геологов были существенно дополнены и модифицированы, так как горные сооружения Европы (Альпы, Арденны, Пиринеи, Апеннины, Карпаты, Рудные горы, Гарц и др.) расположены на значительном расстоянии от океанов или не параллельны их границам. Исследуя древние отложения мезозойского океана Тетис, который когда-то разделял Европу и Африку, европейские геологи Э. Зюсс и М. Неймайр считали, что геосинклинали имеют преимущественно симметричное строение и содержат в том числе и океанические осадки (граптолитовые и «аптиховые сланцы»).

Первая попытка создания полной классификации геосинклиналей принадлежит М. Шухерту (1923), использовавшему представления как американских, так и европейских исследователей и разделившему геосинклинали по аналогии с горными поясами на межконтинентальный средиземноморский и аппалачский типы. Последний образуется у края континента и заполняется осадками как со стороны континента, так и со стороны океана. Совершенства геосинклинальная концепция достигла в работах французского тектониста Ж. Обуэна. Советскими специалистами (В. В. Белоусов, В. Е. Хаин, А. В. Пейве, Б. М. Келлер и др.) в середине 1960-х-начале 1970-х гг. было показано соответствие каждой из стадий развития геосинклиналей определенных магматических и осадочных формаций.

Появление в середине 1950-х гг. сведений о существовании на окраинах океанов турбидитовых (гравитационных) потоков радикально изменило ряд аспектов геосинклинальной концепции, так как привело геологов к переоценке положения и роли грубообломочных пород в бассейнах осадконакопления. Для объяснения механизма накопления осадочных последовательностей в геосинклиналях уже не было необходимости предполагать длительное погружение во время осадконакопления, так как мощные толщи гравитационных осадков могли накапливаться в изначально глубоководных бассейнах за сравнительно короткое время. Успехи геофизики привели к признанию реальности крупномасштабных относительных движений континентов. Открытие явления спрединга океанского дна позволило количественно оценить эволюцию океанов с середины мезозоя.

Первым, кто связал развитие геосинклиналей с постулатом о спрединговом океане (таком, как, например, Атлантика), был канадский геофизик Дж. Уилсон (1966). Он продемонстрировал, что за фазой раскрытия океана в условиях растяжения должна следовать фаза закрытия при сжатии и что современная Атлантика находится в фазе раскрытия, в то время как среднепалеозойская каледонская орогения представляла результат закрытия прото-Атлантики. Классический геосинклинальный цикл, охватывающий дофлишевые, флишевые и молассовые формации, был интерпретирован Дж. Уилсоном как отражение последовательного раскрытия и закрытия океана (впоследствии этот цикл получил название «цикл Уилсона»).

Первая фаза/этап/стадия цикла Уилсона начинается с утонения континентальной литосферы и образования протяженного полненного в основном озерными осадками, кислыми и щелочными вулканическими породами (наиболее хорошо изученный пример подобного рода структур – Восточно-Африканская рифтовая зона). По мере утонения коры вдоль оси рифта изливаются толеитовые базальты, приводя к образованию зарождающегося океанического бассейна. Нередко в этом бассейне накапливаются мощные толщи эвапоритов. Там, где утонение коры прекращается до излияния базальтов и полного разрыва континентальной коры, происходит обширное и длительное (по крайней мере, в течение 100 млн лет) ее погружение, а процессы осадконакопления охватывают территорию, существенно большую, чем площадь «неудавшегося» рифта. Большинство платформенных бассейнов формируется именно по такому сценарию. Примерами подобных бассейнов являются Западно-Сибирский, Североморский и др. При полном разрыве континентальной коры (как это имеет место в Красноморском бассейне, принадлежащем к категории межконтинентальных рифтов) образуется спрединговый хребет, в осевой части которого подушечные лавы базальтов перекрыты эксгаляционными сульфидами, гидротермальными марганцевыми корками и пелагическими карбонатными осадками. Длительный спрединг ведет к трансформации межконтинентального рифта в спрединговый океан, ширина которого может достигать нескольких тысяч километров (Атлантический океан).

После разрыва сплошности континентальной коры и появления межконтинентального рифта континентальные окраины вовлекаются в процессы погружения. При этом морские осадки залегают с несогласием (т.н. «break-up» несогласие) на толщах синрифтовых отложений, а мощность их наращивается в сторону океана. В зоне мелководного шельфа в результате образуется постепенно выдвигающийся (проградирующий) в сторону океана терригенно-карбонатный или карбонатный комплекс (как раз такие отложения и рассматривались в геосинклинальной концепции как миогеосинклинальные). В области континентального склона указанный комплекс сменяется гемипелагическими осадками, а в области континентального подножия — турбидитами (отложения гравитационных потоков, направленных в основном вдоль континентального склона) и контуритами (отложения течений, направленных вдоль контуров континентальных окраин).

Начало второй фазы/этапа/стадии цикла Уилсона приурочено к смене растяжения процессами сжатия и началу субдукции. На континентальных окраинах, где происходит погружение океанической коры под кору континентальную, накопление осадков контролируется рядом факторов, среди которых определяющую роль имеют особенности погружения океанической плиты (под окраину континента или под островную дугу, под пологим или крутым углом и др.). В результате субдукции океанической плиты под континент или островную дугу формируется сложная система осадочных бассейнов, включающая подводный глубоководный желоб, преддуговый, междуговый и задуговый бассейны, в которых накапливаются мощные толщи осадочных и вулканогенно-осадочных образований (примерами последних являются девонские отложения Магнитогорской мегазоны Южного Урала).

субдукции Завершение знаменует переход К третьей фазе/этапу/стадии цикла, связанной со столкновением континентов (коллизия континент – континент), континента и микроконтинента/ов (коллизия континент - микроконтинент) или континента и вулканической дуги (коллизия континент – дуга). Новообразованная океаническая кора в это время уже отсутствует. В результате коллизии начинается формирование и рост покровно-складчатого горного сооружения, выступающего теперь основным источником обломочного материала. Накопление/аккумуляция последнего на данной стадии происходит преимущественно в остаточных Азовское бассейнах (Средиземное, Черное И моря), ных/форландовых/передовых бассейнах (позднепалеозойский Предуральский прогиб) и межгорных впадинах (Ферганская впадина) (рис. 8.1).

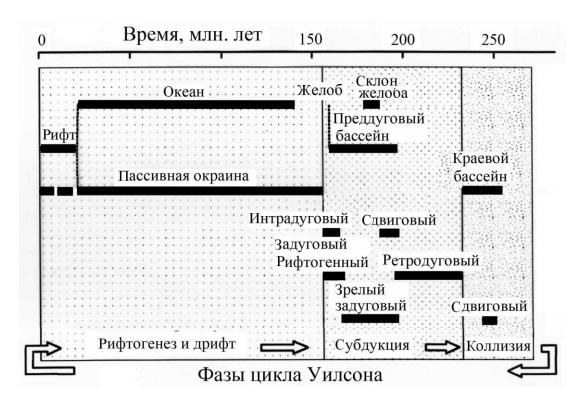


Рис. 8.1. Приуроченность различных типов осадочных бассейнов к фазам/стадиям цикла Уилсона и средняя продолжительность их эволюции, по (Woodcock, 2004)

Осадочные бассейны и их классификация

В середине 1960-х гг. А. Бейли определил осадочный бассейн (ОБ) как зону опускания, обладающую определенным объемом осадочного материала (соответствующим минимальной мощности в 1 км), сохранившегося в относительно простой форме. В толковом словаре английских геологических терминов, изданном в конце 1970-х гг. на русском языке под редакцией известного отечественного тектониста Л. П. Зоненшайна, ОБ – это погруженный, заполненный осадками район, имеющий округлую, эллиптическую или вытянутую форму. В работе Б. А. Соколова, опубликованной в 1980 г., ОБ – область устойчивого и длительного погружения земной коры. Р. Селли (1981) подразумевал под ОБ присутствующие на отдельных участках земной поверхности мощные толщи осадочных отложений.

Тимофеев П. П. (1981) различал седиментационные бассейны и бассейны породообразования. Седиментационный бассейн — это участок земной коры, в пределах которого накапливались или накапливаются осадки, отвечающие стадии седиментогенеза. Бассейн породообразования — тектоническая впадина или другая отрицательная структура, заполненная оса-

дочными или вулканогенно-осадочными образованиями, прошедшими разные стадии литогенетического преобразования.

Согласно представлениям Ю. П. Казанского и др. (1983), ОБ – это пространство, включающее сумму седиментационных обстановок и связанных с ними источников осадочного материала, формирующихся при определенном тектоническом режиме и объединяемых генетической связью.

Романовский С. И. (1996) понимал под современным ОБ депрессионную структуру земной коры, в которой накапливался и продолжает накапливаться комплекс морских и/или континентальных отложений в условиях неизмененной геодинамической обстановки. Соответственно ОБ геологического прошлого — это тектоно-седиментологическая модель конкретного участка земной коры, согласно которой его структурные и вещественные характеристики соотносятся с одной из разновидностей депрессионных структур, соответствующих конкретной геодинамической обстановке.

В основу большинства существующих в геологической литературе классификаций ОБ положен тектонический принцип, так как именно он в интегральном виде определяет не только главные структурные особенности конкретного бассейна, но и характер его выполнения. В общем виде он проиллюстрирован на *рис.* 8.2, в соответствии с приуроченностью к фазам (стадиям цикла Уилсона (см. рис. 8.1).

Наибольшее внимание изучению ОБ в середине XX в. было уделено геологами-нефтяниками, поэтому большинство их классификаций прямо или косвенно посвящено в первую очередь нефтегазоносным бассейнам. Соколовым Б. А. (1980) проведено сопоставление различных классификаций ОБ, опубликованных в отечественной и зарубежной литературе; по его данным, эти классификации могут быть подразделены на три группы. К первой группе принадлежат классификации, базирующиеся на тектонических подходах (классификации И. О. Брода, М. И. Варенцова и К. Н. Кравченко, В. Г. Васильева и др., Л. Э. Левина, М. К. Калинко, И. И. Нестерова и др., А. Перродона, М. Маккросана и Д. Портера и ряда др.). Вторая группа — классификации тектоно-динамические, основанные на учете факторов, определявших характер формирования зон нефтегазонакопления. Третью группу образуют классификации историко-тектонические, в основу которых положен принцип формирования нефтегазоносного ОБ как целостной системы.

Появление концепции тектоники плит оказало большое влияние на развитие не только тектоники, но и большинства других разделов геологической науки, в том числе и на исследования ОБ. Примерами классификаций, основанных на идеях плейттектоники, являются классификации осадочных бассейнов Х. Клемме, А. Бейли, Т. Томпсона и ряда других авторов. В монографии (Обстановки осадконакопления..., 1990) приведена

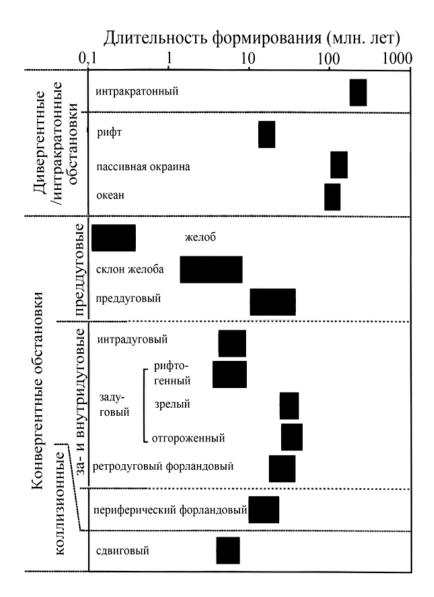


Рис. 8.2. Длительность формирования / существования различных типов осадочных бассейнов, по (Woodcock, 2004)

следующая классификация ОБ: 1) бассейны внутриконтинентальных обстановок (рифты и авлакогены); 2) бассейны пассивных континентальных окраин; 3) бассейны океанических котловин и поднятий; 4) бассейны в зонах субдукции и прилежащих к ним районах; 5) бассейны в зонах горизонтальных смещений; 6) бассейны коллизионных обстановок.

В настоящее время разработаны более сложные и подробные схемы систематики ОБ на геодинамической основе. Одной из них является классификация Г. А. Беленицкой с соавторами (2001), в которой все геодинамические режимы, при которых имеет место формирование ОБ, разделены: 1) на дивергентный; 2) конвергентный; 3) внутриплитный (*табл. 8.1*). В первом режиме обособляются два класса — рифтогенный и пострифтогенный, спрединговый и постспрединговый. Второй режим представлен субдукционным и коллизионным классами, тогда как третий объединяет

Геодинамическая классификация осадочных бассейнов, по (Беленицкая и др., 2001), с упрощениями и сокращениями

Геодинамические режимы		Геодинамические обстановки	Типы бассейнов	
			Внутриконтинентальные рифты	
	Рифтогенный и	Рифтогенные	Авлакогены	
,=	пострифтогенный	внутриконтинен-	Надрифтовые впадины	
₽	пострифтогенный	тальные	Сдвиговые бассейны	
E			в пределах рифтовых систем	
Дивергентный		Рифтогенные межконтинентальные	Бассейны межконтинентальных рифтов	
Ди	Спрединговый и постспрединговый	Рифтогенные океанические	Бассейны океанических рифтов	
		Пассивно-окраинные	Бассейны пассивных окраин	
		тассивно-окраинные	континентов и микроконтинентов	
			Глубоководные желоба	
			Преддуговые бассейны	
			Междуговые бассейны	
	Субдукционный	Активно-окраинные	Окраинные моря/задуговые бассейны	
	Субдукционный	7 кильно окралиные	Краевые прогибы и внутренние	
<u> </u>			впадины окраинных поясов	
ΙĒ			Впадины областей	
Конвергентный			перисубдукционной активизации	
e b			Краевые/предгорные прогибы	
E			(бассейны форланда)	
요			Межгорные впадины	
	Коллизионный	Коллизионные	Остаточные бассейны	
	1. Commonounium	10////Jimonomilia	Бассейны позднеколлизионных	
			(тафрогенных) рифтов	
			Бассейны областей	
			периколлизионной активизации	

активизированный и стационарный классы. В свою очередь, в каждом классе обособляются от одной до трех геодинамических обстановок с различными геодинамическими типами ОБ.

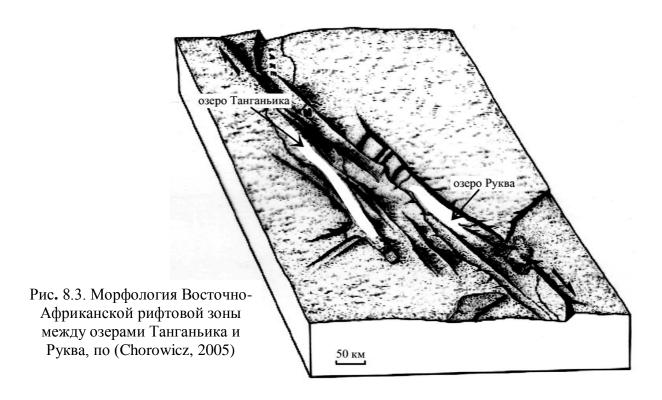
Осадочные бассейны внутриконтинентальных рифтов

Во внутренних областях континентов геолог в основном имеет дело с двумя различными типами ОБ: 1) относительно крупными /платформенными/надрифтовыми впадинами; 2) узкими рифтовыми долинами, ограниченными разломами. Последние, как было сказано выше, могут представлять первую фазу раскрытия океана.

Наиболее богат рифтовыми бассейнами Африканский континент. Одним из самых ярких примеров подобных бассейнов являются рифты Восточной Африки, образующие наиболее протяженную внутриконтинентальную рифтовую систему (длина $\sim \! \! 3000$ км, ширина $-40 \! \! \! -50$ км). Собст-

венно рифтовые долины окружены крутыми сложнопостроенными уступами и поднимающимися над днищами рифтовых впадин плато (рис. 8.3). Рифтовая система прерывиста, разбита по длине поперечными разломами, которые смещают основные граничные разломы, а также вулканами и горстами фундамента, которые воздымаются над плато еще выше. Среди осадочного выполнения рифтов преобладают осадки аллювиальных конусов и озер, как пресных, так и соленых.

В последние годы установлено, что практически для всех рифтовых зон характерно, с той или иной степенью отчетливости, двучленное строение осадочного и вулканогенно-осадочного «выполнения». Формирование наиболее ранних осадочных ассоциаций происходит в обширных пологих мелководных и «сверхмелководных» впадинах, в условиях компенсированного осадконакопления и геоморфологически не выраженных или выраженных слабо бортов рифтовых впадин. Области сноса в эту эпоху характеризуются незначительной расчлененностью рельефа. Латеральные фациальные переходы в отложениях первой стадии выражены неотчетливо. Иногда на ранних стадиях обособляются отдельные части структуры, разделенные своеобразными «порогами», которые сохраняются в течение всей эволюции рифта. В случае рифтовых зон с активным вулканизмом образованию собственно грабеновых бассейнов предшествует появление



обширных сводовых поднятий; в центральных их частях, перед накоплением вулканических последовательностей, формируются маломощные толщи и пачки осадков ранних седиментационных бассейнов. Размеры этих бассейнов, по всей видимости, превосходили размеры зон осадконакопления поздней стадии развития рифтовых систем. Накопление осадков на ранней стадии происходит достаточно однообразно (и более или менее равномерно), на всей площади бассейнов, а сами осадки характеризуются плащеобразным обликом.

На второй стадии развития рифтовых зон параллельно идут два процесса – поднятие бортов (часто неравномерное, как во времени, так и по простиранию зон) и проседание днищ грабенов. Осадконакопление имеет мозаичный, прерывистый, некомпенсированный характер и концентрируется в целом на меньших, чем прежде, площадях. Формируются, особенно в прибортовых зонах, значительные по мощности грубообломочные образования. Если для первой стадии были характерны в основном тонкозернистые озерные осадки при подчиненной роли относительно грубого аллювия, то для второй типичны дельтовые, обвально-оползневые и аллювиальные образования, а также фангломераты. Борта грабенов и рифтов ограничены на этой стадии отчетливо выраженными эскарпами, системами «лестничных» разломов, оперяющими зоны листрических срывов и т. п. тектоническими элементами, что приводит, в условиях сильно расчлененного рельефа и значительных перепадов высот, к интенсивному сносу грубообломочного материала внутрь рифта. Преобладающая часть этого материала сгруживается в аллювиальных конусах выноса вдоль бортов; некоторое количество задерживается в локальных ловушках на плечах грабена.

Платформенные бассейны/бассейны надрифтовых впадин

В отличие от рифтовых бассейнов платформенные бассейны характеризуются значительной стабильностью процессов осадконакопления, обусловленной существованием мощной континентальной коры и умеренными геотермическими потоками. Очертания бассейнов надрифтовых впадин имеют, как правило, овальную или закругленную форму, а их площадь может достигать 1 000 000 км².

Платформенные области распространены в пределах материков гораздо шире, чем складчатые пояса. Соответственно, преобладающая часть ОБ приурочена именно к платформенным структурам. На долю бассейнов платформенных/надрифтовых бассейнов приходится около 60 % общего числа известных ОБ (Соколов, 1980). Из 20 бассейнов, отнесенных к категории богатейших и богатых нефтью и газом, 15 располагаются во внутренних или окраинных частях платформенных территорий. Именно плат-

форменные бассейны наиболее благоприятны для формирования месторождений нефти и газа.

В своем развитии платформенные/надрифтовые ОБ проходят ряд стадий (Соколов, 1980). На первой/рифтовой стадии сплошной чехол, как правило, отсутствует, и накопление осадков идет в отдельных узких и протяженных грабенах; только иногда это имеет место и в смежных с рифтами зонах.

На второй/синеклизной стадии общее погружение создает условия для образования сплошного чехла и появления надграбеновых впадин и синеклиз. Образование сплошного осадочного чехла в платформенных бассейнах на этой стадии во многом предопределяется особенностями предшествовавшей рифтовой стадии. Обычно рифтовые зоны – это центры наиболее глубокого погружения, в которое втягиваются и смежные участки платформ. Синеклизная стадия формирования надрифтовых осадочных бассейнов иногда разделяется на две подстадии: раннюю и позднюю. Первая характеризуется преобладанием погружения над поднятиями, обширными морскими трансгрессиями, накоплением морских терригенных и карбонатных формаций, мощность которых в наиболее погруженных частях бассейнов достигает нескольких километров. Позднесинеклизная подстадия отличается преобладанием процессов воздымания над погружением, регрессиями моря, накоплением как морских, так и континентальнотерригенных, карбонатных, эвапоритовых и угленосных формаций. Наряду с вертикальными движениями имеют место горизонтальные движения сжатия, за счет чего возникают инверсионные зоны поднятий, обычно располагающиеся над рифтовыми прогибами.

Примерами ОБ надрифтовых впадин являются: позднеюрскопалеогеновый Западно-Сибирский, раннекарбоновый Московский, среднедевонско-раннепермский Волго-Уральский, позднекарбоново-триасовый Тунгусский, раннеюрско-позднемеловой Енисейско-Хатангский, а также юрские Центрально-Европейские бассейны, бассейн Гудзонова залива, бассейн Мичиган и др.

Осадочные бассейны пассивных окраин континентов

По мере продолжения спрединга и увеличения размеров новообразованного океана каждая половина рифта становится пассивной континентальной окраиной, которую также называют окраиной «атлантического типа». Эти окраины состоят из шельфа, континентального склона и континентального подножия.

Для окраин атлантического типа типичны так называемые нормальные шельфы, т. е. шельфы с небольшим уклоном дна, в пределах которых по морфологическим особенностям можно выделить три зоны: прибреж-

ное мелководье (глубины до 20–30 м), среднюю зону умеренных глубин (до 50–80 м) и внешнюю зону (130–200 м), завершающуюся бровкой шельфа, за которой начинается континентальный склон. Незначительные глубины на шельфе предопределяют активное воздействие на процесс накопления осадков таких факторов, как волновой режим, приливноотливные и прибрежные течения, сильные шторма. На континентальном склоне и подножии среди осадков преобладают терригенные глинистые илы, алевриты и тонкозернистые пески, транспортируемые сюда нефелоидными и контурными течениями, но главным образом гравитационными/турбидитовыми/мутьевыми потоками. Важное значение в перемещении материала к подножью континентальных склонов играют процессы оползания и соскальзывания.

Наиболее изученные современные пассивные окраины расположены к востоку от Северной Америки, вдоль Северо-Западной Африки, Северо-Западной Европы и Северо-Западной Австралии. По периферии современного Атлантического океана можно наблюдать два латерально эквивалентных разреза, в которых мощные шельфовые осадки перекрывают эвапориты, ниже которых расположены красноцветные отложения аллювиальных конусов выноса рифтовых прогибов, маркирующих ранние стадии формирования пассивной окраины (рис. 8.4).

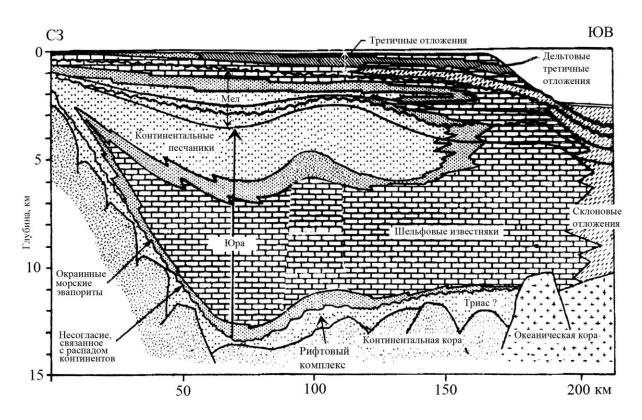


Рис. 8.4. Схематический разрез трога Балтиморского каньона восточной (атлантической) пассивной окраины Североамериканского континента, по (Обстановки осадконакопления ..., 1990)

Развитие континентальной окраины включает четыре стадии - инфрарифтовую, рифтовую, стадию распада и стадию после распада. На инфрарифтовой стадии происходит обширное и быстрое (10 см/1000 лет) погружение, при котором бассейн заполняется в основном грубообломочными отложениями континентального генезиса. Магматические проявления на данной стадии отсутствуют. На рифтовой стадии образуется значительное число разломов, активизируются процессы вулканизма, осадконакопление происходит в континентальных и, частично, морских условиях, темпы погружения снижаются до 2-4 см/1000 лет. Несогласие, связанное с распадом континентов, совпадает с началом спрединга океанического дна и отделяет отложения двух предыдущих стадий от отложений четвертой стадии (стадия после распада), когда начинают доминировать процессы медленного погружения, захватывающие обширные площади, а континентальная седиментация уступает место накоплению морских осадков. Длительность двух первых стадий составляет примерно 30-40 млн лет, а суммарное погружение достигает 40 % от общего погружения пассивной окраины. Общая длительность формирования осадочных бассейнов пассивных окраин может достигать 100 млн лет.

Осадочные бассейны активных окраин континентов

На активных окраинах континентов ОБ располагаются в пределах глубоководных желобов, в преддуговых и междуговых трогах и в окраинных морях (рис. 8.5). Глубоководные желоба представляют собой значительно удлиненные (иногда до 1000 км) бассейны, в которые осадочный материал поступает как со стороны вулканической дуги, так и со стороны океана (в последнем случае — это соскребаемый при субдукции материал с океанической плиты).

Современные преддуговые бассейны имеют ширину от 50 до 100 км, а в длину могут достигать тысяч километров. Иногда в них присутствует до 10 км осадков. В поперечном разрезе преддуговые бассейны представляют плосковыпуклую или вогнуто-выпуклую линзу, сложенную преимущественно осадочно-вулканогенными породами и расположенную между вулканической островной дугой и внутренним бортом глубоководного желоба. Последний чаще всего представляет приподнятый элемент — аккреционный выступ. В зависимости от интенсивности поступления осадочного материала преддуговые бассейны могут иметь шельфовый или глубоководный характер.

Междуговые бассейны объединяют сравнительно небольшое количество современных осадочных бассейнов, расположенных между цепями островных дуг северо-запада и запада Тихоокеанского пояса. В Беринговом

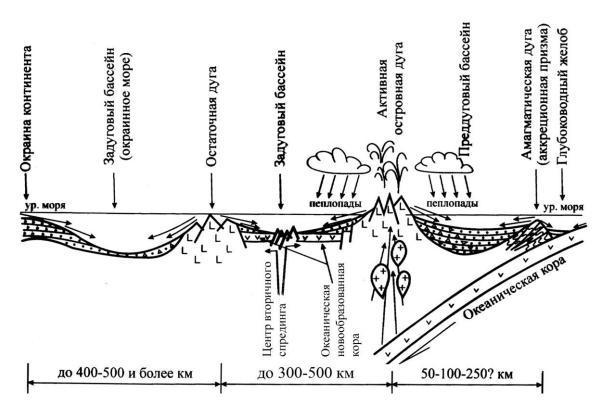


Рис. 8.5. Основные типы осадочных бассейнов активной континентальной окраины

море это Алеутский, Бауэрс и Командорский бассейны; на юге Японских бассейны Хонсю Симосимо; В Индонезийско-И Филиппинском регионе – бассейны Центрально-Филиппинский, Сулу-Палаванский, Сулавеси и др. В Меланезийском регионе к этому типу относятся бассейны Трейдтеул, Корат, Северо-Фиджийский и Лау. Осадочное выполнение междуговых бассейнов, мощность которого составляет в среднем 4-6 км, представлено вулканогенно-осадочными кремнисто-карбонатными и терригенными дельтово-прибрежными отложениями кайнозоя. Процессы накопления и преобразования органического вещества при такой мощности осадков характеризуются достаточно высоким уровнем и соответствуют уровню главной зоны нефтеобразования. Благодаря этому, в междуговых бассейнах известны не только газовые, но и нефтяные месторождения. Формированию залежей нефти и газа способствуют также высокие значения тепловых потоков.

Задуговые осадочные бассейны расположены чаще всего позади островных дуг. Формирование их происходит в условиях растяжения коры и иногда сопровождается появлением новой океанической коры, что в миниатюре напоминает образования океана. Рассматриваемые бассейны имеют, как правило, удлиненные формы и асимметричный профиль, наиболее погруженная и наиболее нестабильная зона находится рядом с активной вулканической дугой. Термические потоки в этих бас-

сейнах обычно превышают средние величины, что связано с уменьшением мощности земной коры, а иногда и с интенсивными магматическими процессами. Осадочное выполнение междуговых бассейнов и краевых морей имеет, как правило, значительную мощность, при существенной роли вулканических и вулканокластических отложений.

Осадочные бассейны краевых прогибов/форландовые бассейны

Между складчато-надвиговым поясом и кратоном, на который в процессе коллизии этот пояс, как правило, надвинут, образуются крупные ОБ, получившие название краевых/предгорных/форландовых (Обстановки осадконакопления..., 1990). В большинстве работ считается, что они образуются при направленном вниз флексурообразном изгибе литосферы за счет надвигания складчато-надвигового пояса. Бассейны форланда имеют преимущественно асимметричное строение, углубляясь в направлении к складчато-надвиговому поясу. Эволюция краевых ОБ тесно связана с эволюцией расположенного рядом с ним складчатого пояса. Латеральная миграция последнего в направлении кратона приводит в ряде случаев к постепенному перекрытию края кратона предгорным бассейном и постепенному его разрушению. Распределение фаций в форландовом бассейне контролируется не только привносом осадочного материала из различных, часто контрастных по своему составу источников в складчато-надвиговом поясе, но и поперечными линеаментами фундамента, разделяющими часто краевые бассейны на ряд впадин/седиментационных ванн.

Выполняющие бассейны форланда отложения традиционно рассматриваются как континентальная моласса, но кроме дельтовых, озерных и аллювиальных осадков они могут включать рифовые, глубоководные (флиш) и мелководно-морские фации (*puc. 8.6*) (Мизенс, 1997).

По данным работы (Беленицкая и др., 2001), наиболее яркими представителями ОБ данного типа являются в России позднепалеозойский Предуральский бассейн, рифейский Присаянский бассейн, кайнозойский Предкавказский бассейн, венд-кембрийский Байкитский бассейн, позднеюрско-меловой Лено-Вилюйский бассейн, а в зарубежных странах — неоген-четвертичный Месопотамский бассейн, ранненеогеновые Предкарпатские бассейны и др.

Формирование позднепалеозойского Предуральского предгорного прогиба и отдельных его ванн происходило неравномерно и с различной интенсивностью (Мизенс, 1997). Так, в башкирском веке глубоководная часть бассейна протягивалась от крайнего юга современного Урала до Башкирского мегантиклинория, на территории которого находилось не-

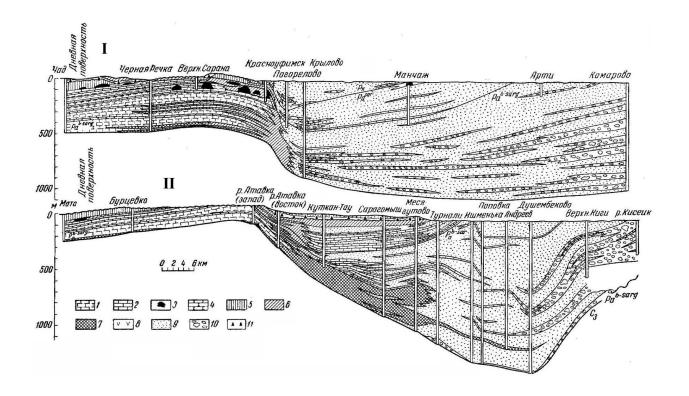


Рис. 8.6. Фациальные профили для нижней перми через Предуральский предгорный прогиб (I — широта г. Красноуфимска; II — широта с. Верхние Киги), по (Наливкин, 1950 г.): I — известняки органогенные; 2 — известняки афанитовые и (обломочные) детритовые; 3 — рифы; 4 — окремнелые породы; 5 — доломиты; 6 — мергели; 7 — то же, битуминозные; 8 — гипсы и ангидриты; 9 — песчаники и сланцы; 10 — конгломераты; 11 — известняковые брекчии

глубокое море. К северу существовал другой глубоководный бассейн, протягивавшийся примерно до широты г. Первоуральска. Далее, вплоть до широтного течения р. Печоры, на территории прогиба формировались только шельфовые карбонаты, а в бассейне левых притоков р. Усы продолжала существовать заложенная еще в конце раннего карбона глубоководная впадина, в которой накапливались кремнистые осадки и фосфориты.

В московском веке в южной части Бельской впадины формировались отложения средних частей турбидитовых конусов выноса. В конце московского века здесь образовался пологий, относительно неглубокий прогиб с известняками и карбонатно-глинистыми отложениями.

На ассельский век ранней перми во многих районах Западного Урала пришлись довольно существенные изменения. Так, в южной части Бельской впадины во второй половине ассельского века за счет размыва предгорного карбонатного шельфа в море стало поступать большое ко-

личество карбонатного материала. Углубление и расширение прогиба началось и в северной части Бельской впадины. Со второй половины асселя на большей части впадины перестали формироваться фосфориты, появились отложения гравитационных потоков, в том числе олистостромы. Глубоководный бассейн, располагавшийся на западном склоне Среднего Урала, достиг широты г. Чусового. В пределах Косьвинско-Чусовской седловины по-прежнему существовали мелководно-морские условия с карбонатным осадконакоплением, а в бассейне р. Вишеры появились более глубоководные обстановки. В сакмарском веке на Западном Урале продолжают существовать три глубоководных флишевых бассейна, а на территории Косьвинско-Чусовской зоны сохранялись мелководные шельфовые условия с карбонатным осадконакоплением. Артинский век ознаменован образованием единого глубоководного бассейна. Во второй его половине произошло резкое усиление привноса в бассейн грубообломочного материала. К концу кунгурского века бассейн постепенно заполнился осадками и перестал существовать.

Остаточные осадочные бассейны

Континентальные окраины и системы островных дуг обычно имеют довольно неправильную форму, а так как континентальные блоки в процессе коллизии сближаются друг с другом под тем или иным углом, то выступами континентальной коры иногда остаются «заливы древних океанических бассейнов», которые называются остаточными бассейнами. Бассейны этого типа характеризуются мощным привносом терригенного материала. Одним из примеров подобного рода бассейнов является Бенгальский залив, ограниченный на западе Индией и закрывающийся из-за косой, направленной на восток субдукции под Индобирманскими хребтами и Зондской внешней дугой (Обстановки осадконакопления..., 1990). Интенсивный снос обломочного материала с Гималаев поставляет громадные объемы кластики в крупную дельтовую систему, переходящую мористее в Бенгальский подводный фен.

По данным, приведенным в работе (Беленицкая и др., 2001), типичными представителями остаточных бассейнов коллизионных поясов являются раннемеловой Зырянский бассейн, позднепалеозойский Прикаспийский бассейн, неоген-четвертичный Южно-Каспийский бассейн, а также неоген-четвертичный Ионический бассейн, ранненеогеновочетвертичный Черноморский бассейн и бассейн Азовского моря (рис. 8.7).

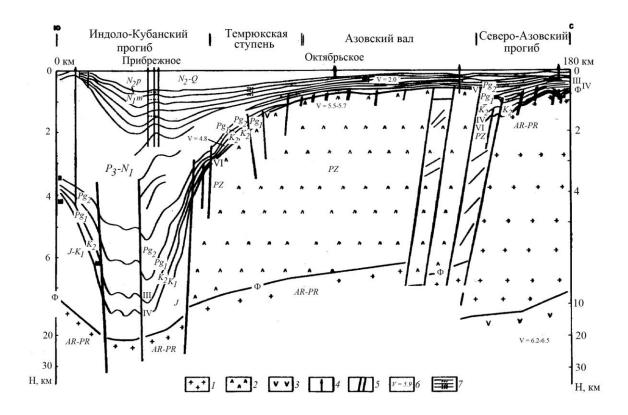


Рис. 8.7. Сейсмогеологический разрез через осадочный бассейн Азовского моря по данным ГСЗ-МПВ-МОГТ (Хортов, 2006):

1 — «гранитный» слой; 2 — породы палеозоя-юры (фундамент Скифской плиты); 3 — «базальтовый» слой; 4 — скважины; 5 — глубинные разломы; 6 — значения граничных скоростей, км/сек; 7 — залежи углеводородов

В целом изучение осадочных бассейнов безусловно требует междисциплинарного подхода. Такой подход определился в последние десятилетия и получил название «бассейновый анализ» (basin analysis) [Allen, Allen, 1992] или «комплексный бассейновый анализ» (integrated basin analysis). Он постоянно совершенствуется и широко используется во всем мире, в том числе успешно разрабатывается в ряде научных коллективов в нашей стране (Осадочные бассейны..., 2004).

Литература

Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов. С.-Пб.: Издво ВСЕГЕИ, 1998. 480 с.

Маслов А. В., Алексеев В. П. Осадочные формации и осадочные бассейны: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 203 с.

Ocadoчные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. М.: Научный мир, 2004. 526 с.

9. ГЕОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Состав и свойства нефтей и природных горючих газов

Нефть

Нефть – маслянистая жидкость со специфическим запахом, обычно темно-коричневого или черного цвета. Средний элементный состав нефтей (вес. %): углерод – 85,0; водород – 13,5; кислород – 0,7, сера – 0,5; азот – 0,3. Два первые элемента обычно резко преобладают количественно, почему нефти иногда называют углеводородами (УВ). Серу, азот и кислород называют гетероэлементами (гетероорганическими элементами). В нефти обнаружено также до 50 микроэлементов.

Углеводородные соединения подразделяются на парафиновые (алканы), нафтеновые (цикланы), ароматические (арены) и смешанные. Алканы - соединения с общей формулой $C_n H_{2n+2}$. При давлении 0,102 МПа и температуре 20 °C первые члены этого ряда — метан, этан, пропан, бутан — газы. От пентана (C_5H_{12}) до пентадекана (C_5H_{32}) - это жидкости. Более высокомолекулярные соединения - твердые тела (парафины). Содержание алканов в нефтях достигает 50 %. Цикланы — насыщенные циклические УВ. Моноциклические УВ имеют формулу C_nH_{2n} . В нефтях содержатся в пределах 25-75 %. Арены — соединения, имеющие в основе замкнутые циклы из 6 атомов углерода и формулы C_nH_{2n-6} , C_nH_{2n-12} , C_nH_{2n-18} и C_nH_{2n-24} . Доля аренов в нефтях составляет обычно 10-20 %. Они отличаются от предыдущих классов УВ более высокой плотностью и температурой кипения. В молекулах смешанных (гибридных) УВ имеются парафиновые цепи, нафтеновые циклы, ароматические кольца.

Неуглеводородные (гетероорганические) соединения присутствуют в нефтях в количествах от нескольких до десятков процентов. В их состав кроме углерода и водорода входят кислород, сера и азот. Эти соединения составляют основную часть смол и асфальтенов. Молекулярная масса (ММ) смол колеблется от 600 до 1000, асфальтенов — в основном от 1000 до 5000. В них содержится до 88 % углерода, до 10 % водорода и до 14 % гетероэлементов, сконцентрированы практически все присутствующие в нефтях металлы. Смолы - это растворимые в УВ нефтей высокомолекулярные гетероатомные бесструктурные вещества. Асфальтены — нерастворимые в низкомолекулярных алканах гетероатомные компоненты нефти.

Микроэлементы содержатся в нефтях в количестве $n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-7}$ % (Семенович, 1989). Количество золы (минеральных веществ), остающейся после сжигания нефти, не превышает десятых долей процента. Наиболь-

шие содержания ($n \cdot 10^{-4}$ %) характерны для ванадия (от 40 до 300) и никеля (49-344), только эти два металла присутствуют в количествах, значительно превышающих их кларки в земной коре.

Плотность нефти определяется при 0,102 МПа и 20 °С и обычно находится в пределах 0,82-0,90 г/см³. Как исключение встречаются нефти плотностью меньше 0,77 (дистилляты естественного фракционирования нефтей) и тяжелые, густые асфальтоподобные нефти, плотность которых превышает 1,000 (остатки естественного фракционирования). Различия в плотности нефтей связаны с количественными соотношениями УВ отдельных классов. Нефть с преобладанием метановых УВ легче нефтей, богатых ароматическими УВ. Плотность смолистых веществ нефти выше 1,000, поэтому чем больше их в нефти, тем выше ее плотность. В пластовых условиях при давлении 20-40 МПа и температуре 80-120 °С в нефти растворен газ. На 1 м³ нефти его приходится 100-250 м³. Поэтому плотность нефти в пласте на 15-20 % ниже, чем на поверхности. Общей закономерностью является повышение плотности нефти от глубокозалегающих комплексов к расположенным ближе к поверхности.

Температура кипения УВ зависит от их строения. Чем больше атомов углерода входит в состав молекулы, тем выше температура кипения. У нафтеновых и ароматических УВ, у которых атомы углерода соединены в циклы или кольца, температура кипения при равном количестве атомов углерода выше, чем у метановых.

Температура застывания нефти зависит от её состава. Чем больше в ней твердых парафинов, тем выше её температура застывания смолистых веществ. С повышением их содержания температура застывания понижается.

Вязкость (динамическая) пластовой нефти (мПа·с) — свойство, определяющее степень ее подвижности в пластовых условиях и значительно влияющее на продуктивность и эффективность разработки залежей (Нефтепромысловая ..., 1994). Из различных УВ меньшей вязкостью обладают парафиновые, наибольшей — нафтеновые. Вязкость нефтей возрастает с усложнением структуры молекул и понижается с увеличением температуры. Из-за более высокой температуры, наличия растворенного газа в пластовых условиях вязкость нефти ниже, чем на поверхности.

Поверхностное натижение является результатом действия молекулярных сил. Силы сцепления между водой и породой больше, чем между нефтью и породой. Это может привести к вытеснению нефти из мелких пустот в более крупные, т. е. к миграции нефти в горных породах. Добавляя в жидкость поверхностно-активные вещества, можно изменять ее поверхностное натижение.

Электрическое сопротивление нефти составляет 10^{10} - 10^{14} Ом·м. Нефти не проводят электрический ток, поэтому для обнаружения в разре-

зах скважин нефтеносных пластов используют электрические методы. Нефть (и газ) находится в горных породах вместе с минерализованной водой, обладающей высокой электропроводностью. Поэтому выделяется на каротажных диаграммах высоким значением электрического сопротивления на фоне водонасыщенных пород.

Природные битумы — вязкие и твердые производные нефти, образовавшиеся в результате ее гипергенных изменений и представляющие собой смесь высокомолекулярных УВ и асфальтово-смолистых веществ. Помимо собственно битумов выделяют битумосодержащие породы — пески, песчаники, известняки. Из них наиболее известны нефтеносные (битуминозные) пески, отличающиеся от тяжелых нефтей большими значениями плотности (0,98-1,02 г/см³) и вязкости. Несмотря на огромные их ресурсы, добыча и переработка битуминозных песков в условиях конкуренции со стороны нефти и природного газа в настоящее время малорентабельны (за исключением отдельных объектов).

Природный горючий газ

Природные горючие газы, образующиеся в осадочной оболочке земной коры, могут находиться в свободном, растворенном и твердом состояниях. В свободном состоянии они образуют газовые скопления промышленного значения. Углеводородные газы растворимы в подземных водах и нефтях. При определенных условиях они могут вступать в соединения с водой и переходить в твердое состояние (газогидраты).

Газы газовых залежей представляют собой смесь в основном метановых УВ. Кроме того, в их состав могут входить диоксид углерода, азот, сероводород, инертные газы. Ввиду преобладания метана (до 98,8 %) эти газы относят к так называемым сухим (или бедным). Газы, растворенные в нефтях, называют попутными нефтяными газами. Они отличаются от сухих значительным содержанием этана, пропана, бутана и высших УВ (в сумме до 50 %), поэтому они получили название жирных (или богатых).

Плотность газа (абсолютная) — отношение массы сухого газа к его объему при температуре 0 °С и давлении 0,1 МПа. На практике часто пользуются относительной плотностью газа (отношение массы газа к массе такого же объема воздуха). Относительная плотность горючих газов меняется от 0,50 (существенно метановые сухие газы) до 1,0 и более (для жирных).

Bязкость — свойство газа оказывать сопротивление перемещению одной части относительно другой — очень мала. Динамическая вязкость метана при давлении 0,1 МПа и температуре 0 °C около 0,01 мПа·с, т. е. в 100 раз ниже вязкости воды. Низкая вязкость обусловливает высокую подвижность свободного газа и способность относительно быстро мигрировать

при перепадах давления через тонкие каналы, трещины и поры пород путем фильтрации и всплывания (эффузия). С повышением давления вязкость увеличивается. Диффузия газов в осадочных толщах осуществляется пре-имущественно через водонасыщенные поры и трещины пород. Она вызывается в основном разностью концентраций газа в смежных частях горных пород и протекает в направлении от большей концентрации к меньшей.

Растворимость газа в нефти измеряется количеством газа в кубических метрах на 1 м³ или 1 т нефти. Растворимость метана в нефти примерно в 10 раз выше, чем в воде. Гомологи метана, двуокись углерода, сероводород, азот характеризуются еще большей растворимостью. Растворимость газа в нефти повышается с ростом давления, уменьшается с увеличением температуры и снижается с увеличением молекулярной массы и плотности нефти. Отношение объема газа к объему или массе добываемой с ним нефти называют газовым фактором. При уменьшении давления и повышении температуры из газо-нефтяного раствора выделяется газ: вначале более труднорастворимый (метан), а по мере уменьшения давления - последовательно более тяжелые УВ (этан, пропан и т. д.). Давление, при котором начинает выделяться газ, называется давлением насыщения. Газ, растворяясь в нефти, увеличивает её объём и уменьшает плотность, вязкость и поверхностное натяжение. Если объем газовой фазы значительно превышает объем нефти, то при определенных термобарических условиях наступает обратная растворимость: жидкие углеводороды начинают растворяться в газе, и при определенных давлении и температуре смесь флюидов полностью превращается в газ (ретроградное или обратное испарение). При понижении давления из смеси начинает выпадать конденсат в виде жидких УВ (пентан и высшие) – обратная (ретроградная) конденсация.

Газоконденсаты - природные пластовые УВ-системы взаиморастворенных газообразных и, главным образом, легкокипящих жидких нефтяных (C_{5+}) УВ, находящихся при определенных термобарических условиях земных недр в парообразном состоянии. Охлаждение или снижение давления до атмосферного приводит к выпадению из этой системы жидкой фазы – конденсата. Газовая часть газоконденсатов относится к категории жирных газов. Газоконденсатные системы (ГКС) отличаются от нефтяных (нефтегазовых) однофазным газообразным состоянием УВ-флюида, а от чисто газовых – наличием жидких и твердых УВ, смол, находящихся в состоянии обратного испарения. Конденсаты в стандартных условиях представляют собой жидкости. Плотности их колеблются в пределах 0,620-0,825 г/см³ и обычно увеличиваются с глубиной.

В групповом составе УВ составляют более 90 %, смолы, как правило, не превышают 5 %, асфальтены – десятые, сотые доли процента. Различают сырой конденсат и стабильный. Сырой представляет собой извлечен-

ную на поверхность жидкую фазу, в которой растворены газообразные компоненты. Стабильный конденсат получают из сырого путем его дегазации. Важная характеристика ΓKC — содержание стабильного конденсата (обычно в Γ/M^3 или CM^3/M^3). Чем выше пластовые давления и температура, тем больше вероятность нахождения в газе конденсата.

Газовые гидраты (ГГ) внешне похожи на снег или талый лед. Они образуются при определенных температуре и давлении при проникновении молекул газов в кристаллическую решетку воды за счет сил поверхностного натяжения и водородных связей. Гидраты УВ-газов, CO_2 , H_2S образуются в интервале температур 0-15 °C и давлении 0,1-5 МПа; гидраты метана — при более низкой температуре и высоком давлении. Установлено, что один объем ГГ может содержать до 200 объемов газа, состоящего на 98-99 % из метана. В зависимости от величины геотермального градиента зона образования ГГ на суше находится на глубине от 0 до 1200 м. На поверхности дна океана благоприятная обстановка для образования ГГ находится при глубине воды от 400 и более метров (Милетенко и др., 2004).

Породы-коллекторы

Нефтегазоносные толщи характеризуются сочетанием двух главных типов пород: пород-коллекторов, обладающих пустотным пространством, в котором возможно перемещение воды нефти и газа под воздействием сил гравитации и (или) при перепаде давления, и пород-флюидоупоров (покрышек), препятствующих миграции УВ из коллектора.

Наиболее распространенными коллекторами являются терригенные (пески, алевриты, песчаники, алевролиты и некоторые аргиллиты) и карбонатные (известняки, мел, доломиты) породы. Основные параметры, характеризующие коллекторские свойства пород, – *пористость* (емкость) и *проницаемость*.

Пористость — емкость пустотного пространства коллектора. В сверхкапиллярных порах вода, нефть и газ перемещаются под действием гравитационных сил. В капиллярных порах движение жидкости затруднено вследствие сил молекулярного сцепления. Субкапиллярные поры характерны для глинистых пород, которые в общем случае являются водо- и нефтегазоупорными. Движение нефти в пласте осуществляется лишь по сообщающимся поровым каналам сечением >0,2 мкм. Различают общую, открытую и эффективную пористость. Общая пористость — отношение объема всех пор (открытых и закрытых) к объему породы в процентах или долях единицы. Открытая пористость — отношение, учитывающее только объем сообщающихся между собой пор, каверн, трещин, заполненных флюидом (нефтью, газом или водой). Эффективная пористость определя-

ется наличием таких пор, из которых нефть может быть извлечена при разработке.

Величина пористости обломочных пород зависит, главным образом, от формы зерен (но не от их размера, если порода хорошо отсортирована) и от характера их взаимного расположения. У пород, состоящих из неодинаковых по размеру обломков (конгломератов, гравелитов, глинистых песчаников), пористость резко снижается, так как мелкие зерна заполняют промежутки между крупными зернами, уменьшая тем самым объем порового пространства. Порами принято называть пустоты в обломочных породах между зернами (гранулами). Пористость здесь называется межзерновой (межгранулярной). Кавернами, которые особенно характерны для карбонатных пород, называют пустоты, возникающие в результате растворения цемента, выщелачивания каких-либо минералов. Трещины – пустоты, возникшие при разрыве сплошности пород. В соответствии с видами пустот коллекторы бывают поровые (в обломочных породах они называются гранулярными), каверновые (в основном карбонатные породы), трещинные (любые горные породы), а также смешанные (например, порово-трещинные).

Наряду с вышеописанными коллекторами нефтегазоносность может быть связана с "нетрадиционными" коллекторами, в роли которых выступают глинистые, кремнистые, вулканогенно-осадочные, вулканогенные, интрузивные и метаморфические породы.

В глинистых и биогенных кремнистых толщах возникновение пустот связано с генерацией УВ и перестройкой минеральной матрицы породы. В глинистых породах на стадии катагенеза вследствие трансформации глинистых минералов, выделения связанной воды, генерации из ОВ жидких продуктов и газов (и возрастания объема флюидов), на определенной глубине возникают зоны разуплотнения, и какой-то участок породы вследствие роста внутреннего давления пронизывается системой трещин. Повидимому, так образовались коллекторы в баженовской карбонатнокремнисто-глинистой свите верхней юры в Западно-Сибирской нефтегазоносной мегапровинции (НГМП). По данным И. И. Нестерова и А. А. Трофимука, пористость баженитов достигает 10-20 %, средняя — 5-10 %; проницаемость — до 2,5-5 мД.

В составе фундамента нефтегазоносность бывает связана с метаморфическими и интрузивными породами. Большей частью коллекторы здесь возникают за счет их выветривания, реже – проработки гидротермальными растворами.

Проницаемость - способность породы пропускать через себя жидкость и (или) газ при наличии перепада давления. В системе СИ за единицу проницаемости (1мкм²) принимается проницаемость такой породы, при фильтрации через образец которой с поперечным сечением 1 см² при перепаде давления в 0,1 МПа за 1 с проходит 1 см³ жидкости вязкостью в 0,001 Па·с. Проницаемость зависит от размера и конфигурации пор, от плотности укладки зерен и взаимного их расположения, трещиноватости пород.

Породы-флюидоупоры (покрышки)

Формирование и сохранение скоплений УВ в коллекторах возможно благодаря перекрытию их сверху непроницаемыми для флюидов породами-покрышками. Эти породы могут экранировать пласт коллектора и по латерали (контакт глин с песком по разрывному нарушению или фациальное замещение песков глинами). Изолирующая способность пород-экранов обеспечивается низкой эффузионной и диффузионной проницаемостью их для УВ. Флюидоупорами являются чаще всего глинистые, сульфатногалогенные породы. Способны экранировать залежи УВ и карбонатные породы (пелитоморфные известняки и доломиты). Однако при диагенезе и катагенезе последние теряют воду и приобретают трещиноватость, к тому же и примесь терригенного материала ухудшает их экранирующие свойства.

Породы-покрышки различаются по протяженности (региональные, зональные, локальные), толщине, наличию или отсутствию нарушений сплошности, однородности сложения, минеральному составу. Толщина покрышек оказывает значительное влияние на их экранирующие свойства. Для многих газоносных районов отмечается прямая связь между толщинами покрышек и высотами перекрываемых и удерживаемых ими залежей. Наличие трещиноватости в породах-флюидоупорах снижает их экранирующие свойства. Так, в зонах региональных разломов первоначальные пластичные глинистые породы становятся хрупкими, с раскрытыми трещинами и могут пропускать флюиды. Важную роль в экранирующих свойствах глинистых покрышек играет степень их однородности: присутствие прослоев песчаного и алевритового материала ухудшает их качество.

Глинистые покрышки распространены наиболее широко. Глины характеризуются пластичностью, зависящей от степени дисперсности слагающих их минеральных частиц, химического состава и способности к ионному обмену. Монтмориллонитовые глины, способные при наличии влаги разбухать и совершенно терять фильтрационные свойства, являются лучшими экранами по сравнению с каолинитовыми разностями этих пород.

Самые надежные экраны – каменные соли (галогенные покрышки), которые благодаря своей пластичности практически лишены открытых пустот и каналов фильтрации, деформации их происходят без нарушения сплошности. Высокая экранирующая способность солей сохраняется в условиях больших глубин, где они могут находиться в состоянии текучести. Сульфатные покрышки обычно представлены ангидритами и гипсами. В них легче

образуются системы трещин, поэтому они не всегда бывают хорошими экранами. Ангидриты более характерны для больших глубин (> 1000 м), гипсы чаще развиты на меньших глубинах (< 1000 м). В целом экранирующая способность гипсовых покрышек выше, чем ангидритовых (Сараева, 1992).

Покрышки, относящиеся к разряду *плотностных*, образуются обычно толщами однородных монолитных, лишенных трещин мелкозернистых, пелитоморфных известняков, реже доломитов, мергелей.

По мнению некоторых исследователей, абсолютно непроницаемых для УВ покрышек в природе не существует. В. П. Савченко на основе экспериментальных работ предположил, что глинистая покрышка удерживает только такую залежь, избыточное давление в которой меньше перепада давлений, обусловливающего начало фильтрации флюидов сквозь эту покрышку. Чем толще покрышки, тем выше их изолирующие качества и способность удерживать залежи с большими высотами. С другой стороны, имеет место изменение экранирующих свойств глинистых пород при литогенезе. Так, совместное влияние высоких давлений и температур в позднем катагенезе приводит к дегидратации глинистых пород и их аргиллитизации. На данной стадии литогенеза в аргиллитах идет интенсивное образование микротрещин. Поэтому покрышки, представленные аргиллитами, теряют свои экранирующие свойства.

Природные резервуары и ловушки

В земной коре вместилищем для нефти, газа и воды служат коллекторы, заключенные в плохопроницаемые породы. И. О. Брод и Н. А. Еременко предложили называть эти естественные вместилища УВ и воды *природными резервуарами*. Форма (морфология) их определяется соотношением в разрезе и по площади пород-коллекторов с вмещающими их флюидоупорами. Различают три основных типа природных резервуаров: пластовые, массивные и литологически ограниченные со всех сторон.

Пластовые резервуары представлены породами-коллекторами, имеющими значительное площадное распространение (сотни и тысячи квадратных километров) и относительно небольшую мощность (от долей до десятков метров). Чаще они сложены терригенными, реже карбонатными породами; могут содержать отдельные линзовидные прослойки непроницаемых пород, что делает их неоднородными по строению.

Массивные резервуары представляют собой мощную (несколько сот метров) толщу пластов-коллекторов одинакового или различного состава (соответственно однородно-массивные и неоднородно-массивные). В толще пластов-коллекторов могут быть непроницаемые прослои, однако все пласты проницаемых пород сообщаются, представляя единый природный

резервуар. Массивные резервуары ограничены проницаемыми породами только у кровли или у размытой поверхности отложений, слагающих эрозионные выступы или рифовые постройки. Существенную роль в массиве имеет вертикальная дифференциация флюидов по плотности. При наличии общего нефтегазоводного контакта в нескольких слоях, т. е. их гидродинамической связи, говорят о пластово-массивном резервуаре.

Питологически ограниченные резервуары окружены со всех сторон практически непроницаемыми породами. В наиболее простом случае это песчаная линза в глинистой толще или на каком-то участке повышенной трещиноватости или кавернозности в массиве осадочных или изверженных пород. Примеры литологических резервуаров: погребенная аллювиальная долина, протоки палеодельт, тела ископаемых баров.

Обычно большая часть порового пространства природного резервуара заполнена водой, имеющей различное происхождение (седиментационной, инфильтрационной и др.). Нефть и природный газ по отношению к седиментационной воде являются более поздними образованиями. Оказавшись в свободном состоянии в природном резервуаре, заполненном водой, УВ стремятся занять в нем самое высокое положение. Они всплывают в воде вверх до тех пор, пока не достигнут кровли пласта-коллектора (подошвы пласта-флюидоупора). Дальнейшее их продвижение по пластуколлектору происходит только в случае наклонения кровли пласта к горизонту. Тогда УВ перемещаются по наклонному пласту-коллектору вблизи его кровли. Если на их пути встречается препятствие (литологический экран, изменение наклона пласта на обратное и т. д.), то в этой части природного резервуара нефть и газ начинают скапливаться и образуют залежь. Часть природного резервуара, в которой устанавливается равновесие между силами, вызывающими перемещение флюидов в породах и препятствующими ему силами, называется ловушкой. Основные причины перемещения - разность давлений и силы всплывания нефти и газа в воде. Кроме непроницаемых пород, оказывающих противодействие перемещению флюидов, экран также может создаваться напором воды. Простейший тип ловушки – брахиантиклиналь или купол, где пласт коллектора снизу и сверху ограничен флюидоупорами. Замкнутый по периметру изгиб пласта выпуклостью вверх создает условия для улавливания и сохранения УВ.

Снизу нефть (или газ) подпирается водой. На *puc. 9.1* приведена генетическая классификация ловушек, согласно которой различают следующие их типы:

Структурные (см. рис. 9.1, E, E) — образованные в результате изгиба слоев (сводовые) или разрыва их сплошности (тектонически экранированные). Нефть и (или) газ, мигрируя в коллекторе по восстанию слоев или по тектоническим нарушениям, попадают в ловушки - своды антикли-

нальных структур, где и формируются скопления УВ. В НГП и областях структурные ловушки имеют наибольшее распространение. Нередко сводовые ловушки называют антиклинальными, а все остальные – неантиклинальными.

Стратиграфические (см. рис. 9.1, *A*) сформировались в результате эрозии пластов-коллекторов во время перерыва в осадконакоплении и перекрытия их непроницаемыми породами.

Литологические (см. рис. 9.1, B, \mathcal{A}) — их возникновение обусловлено литологической изменчивостью пород-коллекторов, выклиниванием песков и песчаников по восстанию слоев, а также трещиноватостью пород и другими причинами. Часто литологические ловушки представлены песчаными линзами внутри преимущественно глинистых толщ (см. рис. 9.1, B).

Pифогенные (см. рис. 9.1, \mathcal{K}) — сформировались в результате отмирания организмов-рифостроителей (кораллов, мшанок), накопления их скелетных остатков в форме рифового тела и последующего его перекрытия слабопроницаемыми (гипсы, ангидриты) и непроницаемыми (каменная соль) породами.

Иногда ловушки УВ формируются в результате действия нескольких факторов (структурных, стратиграфических, литологических). Подобные ловушки получили название комбинированных (смешанных).

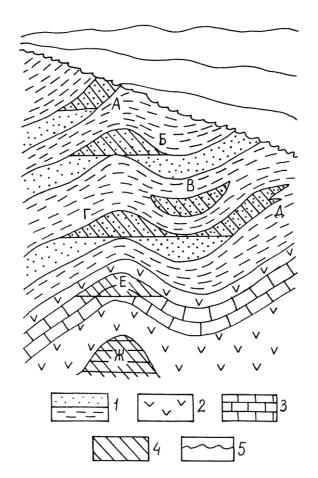


Рис. 9.1. Ловушки нефти и газа в пластовых (А, Б, Г), массивных (Е, Ж) и литологических (В, Д) природных резервуарах (Геология..., 1998; Русский, 2005): породы: I — терригенные; 2 — хемогенные; 3 — карбонатные органогенные; 4 — ловушки; 5 — поверхность стратиграфического несогласия

Залежи нефти и газа

Согласно предложению А. А. Бакирова, скопления УВ в недрах подразделяют на локальные и региональные. В категорию локальных скоплений им включаются залежи и местоскопления (месторождения). Залежь нефти и газа представляет собой естественное локальное единичное скопление УВ в ловушке (Еременко, 1961; Геология..., 1998). Месторождение нефти и газа — это совокупность залежей УВ, приуроченных к одной или нескольким естественным ловушкам, расположенным в недрах локальной площади, контролируемой единым структурным элементом (Брод, 1951).

Газ, нефть и вода располагаются в ловушке в соответствии с их плотностью. Газ, как наиболее легкий, находится в прикровельной части природного резервуара. Ниже поровое пространство коллектора заполняется нефтью, а еще ниже — водой. На *рис.* 9.2 приведены принципиальные схемы (карта и разрез) нефтегазовой залежи, приуроченной к сводовому изгибу пласта-коллектора.

По степени заполнения ловушки углеводородами различают залежи полнопластовые и неполнопластовые (водоплавающие), а по положению линии водонефтяного контакта (ВНК) — с горизонтальным и наклонным ВНК. Так называемые «висячие» залежи образуются, как правило, в пластовых резервуарах или в результате ухудшения коллекторских свойств в части ловушки, противоположной направлению движения вод или под действием только гидродинамического фактора. В этом случае «висячая» залежь располагается на одном из крыльев ловушки и сохраняется за счет регионального напора вод.

По физическому состоянию УВ, заполняющих ловушку, различают залежи: нефтяные, нефтегазовые, газонефтяные, газовые, нефтяные с растворенным газом, газоконденсатные, газогидратные.

Существуют классификации залежей УВ, отражающие особенности их морфологии и условий образования. На основе генетического принципа А. А. Бакиров выделил четыре основных класса локальных скоплений УВ характеристика которых приведена ниже (Геология..., 1998).

Класс структурных залежей. К нему относятся залежи, приуроченные к локальным тектоническим структурам. Наиболее часто встречаются сводовые, тектонически экранированные и приконтактовые залежи. Залежи антиклинальных структур приурочены к локальным поднятиям простого или нарушенного строения. Сводовые залежи формируются в сводовых частях локальных структур простого ненарушенного строения или осложненных разрывными нарушениями, диапиризмом, грязевыми вулканами, солянокупольной тектоникой. Пластовые сводовые залежи — наиболее часто встречаемые скопления УВ — в них нефть и газ ограничены сверху и

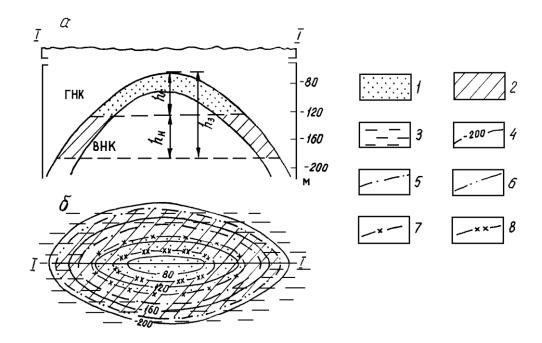


Рис. 9.2. Принципиальная схема строения сводовой залежи (Геология..., 1998): a — геологический разрез; δ — структурная карта: 1 — газовая часть залежи; 2 — нефтяная часть залежи; 3 — водоносная часть пласта; 4 — изогипсы по кровле пласта, м; контуры нефтеносности: 5 — внутренний, 6 — внешний; контуры газоносности: 7 — внешний, 8 — внутренний, h_{Γ} — высота газовой части залежи; h_{Π} — высота нефтяной части залежи; h_{Γ} — h_{Π}

снизу проницаемыми пластами, а на крыльях - водой. Ловушка образована изгибом перекрывающего флюидоупора. Контакт нефть-вода или газ-вода обычно горизонтальный и в плане имеет форму кольца, огибающего складку по соответствующей изогипсе. Залежи могут быть рассечены сбросами или взбросами, амплитуда которых не нарушает гидродинамическую связь отдельных блоков.

Висячие залежи располагаются на крыльях, а иногда и на периклиналях локальных структур. Контуры ВНК обычно не соответствуют изогипсам кровли или подошвы продуктивного пласта, а секут их под разными углами.

Тектонически экранированные залежи формируются вдоль сбросов, взбросов или надвигов, осложняющих строение локальных структур. Тектоническое экранирование обычно обусловлено дизъюнктивным нарушением, по которому коллектор приведен в контакт с флюидоупором. При этом само нарушение должно быть непроницаемым. Часто один и тот же пласт содержит самостоятельные залежи в разных блоках, разобщенных нарушениями.

Приконтактовые залежи образуются в продуктивных пластах, контактирующих с соляным штоком, глиняным диапиром, вулканогенными образованиями. Экраном здесь могут являться соль в ядрах диапиров, трещины, заполненные грязевулканической брекчией.

Залежи *моноклиналей* связаны с флексурами, со структурными носами или же разрывными нарушениями, осложняющими моноклинали.

Класс литологических залежей. В его составе выделяются литологически экранированные и литологически ограниченные залежи. Литологически экранированные залежи связаны с участками выклинивания по восстанию пласта-коллектора или с участками замещения проницаемых пород непроницаемыми.

Питологически ограниченные залежи приурочены к песчаным образованиям ископаемых русел и дельт палеорек (шнурковые и рукавообразные), к прибрежным песчаным валоподобным образованиям ископаемых баров (баровые) или же к гнездо(линзо)образно залегающим песчаным коллекторам, окруженным со всех сторон глинами.

Класс стратиграфических залежей. Стратиграфические залежи могут сформироваться в пластах-коллекторах, срезанных эрозией и несогласно перекрытых непроницаемыми породами более молодого возраста; могут быть приурочены к участкам стратиграфических несогласий на антиклиналях, выветрелой части погребенных останцев палеорельефа или выступов кристаллических пород фундамента. В случае сильного размыва антиклинальной складки, когда его глубина превышает толщину продуктивного горизонта, в центральной части залежи образуются так называемые «лысые» места, т. е. зоны отсутствия продуктивного горизонта.

Класс рифогенных залежей. Залежи этого класса образуются в телах рифовых массивов. Рифовый массив или группа их обычно содержат единую нефтяную или газонефтяную залежь с общим ВНК.

Происхождение нефти и газа и формирование их залежей

Существует два принципиальных подхода к решению проблемы генезиса нефти и газа: одни концепции исходят из органического (биогенного) образования скоплений УВ, другие предполагают неорганическое (абиогенное) их происхождение.

Концепция органического происхождения нефти и газа

Наиболее разработана и обоснована фактическим материалом осадочно-миграционная теория происхождения нефти. Согласно этой теории, нефти и горючие газы образуются в процессе литогенеза. На стадии седиментогенеза в водоемах наряду с минеральными частицами накапливаются и захороняются остатки растений и животных, обитавших в бассейне, разрушавшие их микроорганизмы, продукты их деятельности и разложения. Источником ОВ более чем на 90 % служат остатки простейших организмов — бактерий, водорослей и других, относящихся к фито- и зоопланктону. Часть видового состава этих организмов существует на Земле несколько миллиардов лет. Растительные остатки, выносимые реками с континентов последние 400 млн лет, играют меньшую роль и являются исходным материалом для образования, главным образом газа. Все эти органические остатки распределены в минеральной массе (РОВ), содержание их в породах обычно составляет десятые доли — единицы процента. РОВ включает «битумоиды» — вещества, сходные с нефтью, растворимые в органических растворителях. В последующее за седиментогенезом время происходит преобразование РОВ в УВ, их миграция и аккумуляция. Подтверждением этой теории является приуроченность подавляющего большинства выявленных залежей к осадочным толщам.

В ряде случаев в терригенных толщах нефть заполняет линзы песчаников, запечатанные в толще пластичных, практически непроницаемых глин. Здесь источником УВ могли быть лишь окружающие залежь глины, обогащенные ОВ.

Подтверждением связи исходного ОВ нефти и газа с РОВ явилось установление в нефтях так называемых *хемофоссилий*, представляющих собой унаследованные от живых организмов биомолекулы и их опознаваемые фрагменты. В нефтях присутствуют также сернистые, азотистые и кислородные соединения. По мнению В. И. Вернадского, наличие их в нефтях невозможно представить иначе как продукт распада ОВ.

Установлено, что нефтегазоматеринскими (НГМ) могут быть не только глинистые породы, но и карбонатные, если они накапливались в восстановительной обстановке и обогащены ОВ. По определению В. И. Ермолкина, нефте- и газоматеринскими являются литолого-фациальные комплексы, сложенные литологически разнородными породами, образовавшимися как в морских и прибрежно-морских, так и в континентальных условиях в субаквальной восстановительной обстановке (Геология..., 1998). Главные диагностические особенности НГМ-отложений: накопление в субаквальной среде с анаэробной обстановкой на фоне относительно устойчивого погружения бассейна седиментации в течение длительного отрезка геологического времени; наличие в отложениях признаков возникновения и развития процессов нефтегазообразования, что может проявляться повышенным содержанием УВ нефтяного ряда в битумной части ОВ, содержащегося в породах.

Необходимым условием генерации нефтяных и газовых УВ является погружение НГМ-толщ на глубины, где существуют благоприятные условия для нефтегазообразования (см. прил. 5). При этом преобразование ОВ НГМ-отложений в нефть и газ и носит многоступенчатый стадийный характер. Углеводороды ОВ, накапливающегося в осадках в диффузно-

рассеянном состоянии, и само ОВ испытывают сначала действие главным образом биохимических процессов и микроорганизмов. По мнению В. В. Семеновича (1989), на ранних стадиях погружения, в диагенезе (до глубины порядка 1000 м), РОВ «созревает» до стадии керогена^{*}. При этом выделяется незначительная доля метана и диоксида углерода. По мере погружения осадков и все возрастающего теплового потока земных недр, процесс генерации УВ активизируется, и они эмигрируют из нефтепродуцирующих толщ в коллекторы. С глубины 1000 м в катагенезе (температура выше 60 °C), до глубины 3000 м (температура 180-200 °C) из керогена образуется основная часть жидких компонентов нефти (битумоиды или «микронефть»). Это – «главная зона (фаза) нефтеобразования» (ГЗН, по Н. Б. Вассоевичу, рис. 9.3). Глубже 3000 м выделение жидких компонентов затухает и увеличивается доля генерируемого газа (сначала УВ, а глубже – СО2). УВ в свободном или растворенном состоянии мигрируют по коллекторам, заполняя ловушки и образуя залежи. В зависимости от характера проявлений дальнейших тектонических и других геологических процессов эти залежи консервируются или разрушаются, рассеиваясь в литосфере или атмосфере.

Для формирования НГМ-отложений большое значение имеют биологическая продуктивность водоема и скорость осадконакопления в нем. Некоторые исследователи считают возможно нефтематеринскими только те отложения, которые обогащены ОВ сапропелевого типа, а осадки, содержащие гумусовое ОВ, относят лишь к газоматеринским. Другие авторы считают, что нефтеобразование может происходить и в отложениях, содержащих ОВ гумусово-сапропелевого происхождения.

С позиции теории мобилизма О. Г. Сорохтин и С. А. Ушаков считают возможным генерацию УВ в зонах субдукции плит за счет термолиза ОВ, затянутых туда вместе с осадками. С точки зрения геохимического преобразования ОВ интерес представляют и такие фазы развития литосферы (по В. П. Гаврилову), как морского рифта, частичной и полной субдукции, характеризующиеся «...аномально высокими значениями термобарических факторов. В указанные стадии эволюции литосферы породы, содержащие ОВ, подвергаются активному температурному и динамическому воздействию, происходят возгонка и термолиз ОВ (активный катагенез). Образующиеся горячие флюиды «промывают» горные породы, снижают капиллярное взаимодействие нефти со стенками пор и срывают молекулярные пленки ОВ с поверхности зерен, способствуя тем самым эмиграции нефти из НГМ-комплексов...».

_

^{*} Кероген — «...совокупность новообразованных высокомолекулярных соединений», ...состоящих главным образом из конденсированных ареновых и циклановых структур с алкановыми и гетероатомными радикалами; в отличие от битумоидов она не растворяется в органических растворителях... (Семенович, 1989).

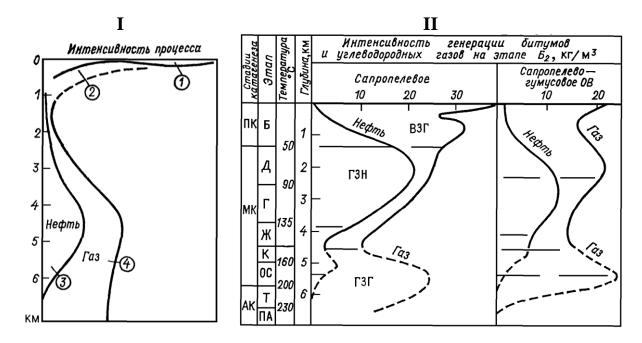


Рис. 9.3.Схемы вертикальной зональности образования УВ (Основы..., 1987): I — зоны образования нефти и газа, по Дж. Ханту; II — интенсивность генерации битумоидов и углеродных газов ОВ в зоне катагенеза, по А. Э. Конторовичу, О. Н. Изосимовой, П. А. Трушкову; ВЗГ — верхняя зона интенсивного газообразования; ГЗН — главная зона газообразования; ГЗГ — глубинная зона интенсивного газообразования; ПК-АК — градации катагенеза (по Н. Б. Вассоевичу); Б-ПА — марка углей

В последней четверти XX века была предложена флюидодинамическая модель нефтегазообразования, базирующаяся на свойстве осадочных пород в процессе литогенеза расслаиваться на зоны уплотнения и разуплотнения. По этой модели, развитие осадочных бассейнов (ОБ) приводит к созданию зон разуплотнения, насыщенных флюидами, которые находятся в условиях повышенного внутреннего давления. Это ведет к созданию мощной флюидодинамической системы, выраженной восходящими тепловыми потоками, активизирующими процессы нефтегазообразования. Нефть и газ – это разновидность низкотемпературной дефлюидизации НГМ-осадочных пород, находящихся в очагах генерации УВ. Углеводородные растворы, поднимаясь по трещинам и порам вверх по разрезу осадочных пород, пересекая горизонты коллекторов с температурой и давлением ниже, чем в очагах генерации, насыщают их нефтью и газом. Если флюидодинамические системы существуют достаточно долго, то в них появляются несколько уровней очагов генерации, а над ним несколько этажей размещения залежей УВ. При этом внизу состав нефтей и газов приблизительно отвечает составу ОВ сопряженного с ними очага генерации, а выше он будет иметь смешанный характер за счет появления УВ, мигрирующих из нижерасположенных очагов. Погружение осадочных пород способствует их интенсивному прогреву, созданию очагов генерации УВ,

миграции последних вверх по разрезу до зон, в пределах которых происходит концентрация УВ в виде залежей в ловушках, в том числе и возникших под влиянием энергии поднимающихся потоков тепломассопереноса.

Концепции неорганического происхождения нефти и газа

В России первой гипотезой неорганического происхождения нефти и газа была «карбидная» гипотеза Д. И. Менделеева (1877), согласно которой нефть может образовываться в глубоких недрах Земли в результате действия воды на углекислые металлы-карбиды. В. Д. Соколов (1889), основываясь на присутствии УВ в метеоритах, хвостах комет и других космических телах, выдвинул гипотезу о космическом происхождении нефти. Он считал нефть продуктом синтеза углерода и водорода на стадии существования Земли и других планет их в газовой фазе. При охлаждении УВ поглощаются магмой, а впоследствии выделяются в виде эманации, образуя залежи в благоприятных для скопления участках земной коры. Согласно модели Н. А. Кудрявцева (1977), нефть и газ образуются из реакционных смесей Н₂, СО, СО₂, СН₄ и других углеродистых соединений. Эти превращения протекают в высокотемпературных очагах нефтегазообразования, где происходят процессы накопления и преобразования реакционной смеси и создается избыточный по отношению к гидростатическому потенциал пластовых давлений. При сверхвысоких давлениях в таких очагах продукты реакций могут из них удаляться и накапливаться в ловушках. По мнению П. И. Кропоткина (1985), УВ поступают в осадочную толщу литосферы в результате дегазации мантии. Прорыв Н2, СН4 и других УВ, а также H₂O, CO и H₂S редуктосферы по разломам в верхние слои, где они задерживаются в ловушках, главным образом среди осадочных пород, может быть источником месторождения УВ газа. Сторонники биогенного происхождения УВ отмечают слабую аргументированность гипотезы неорганического происхождения нефти и газа. С позиций неорганического генезиса нефти нельзя объяснить приуроченность более 99,9 % ресурсов УВ к ОБ, генетическую связь нефти с ОВ НГМ-пород. Открытие бактериальной жизни в высокотемпературных гидротермах и биопродуктов жизнедеятельности бактерий в рудах глубоководных зон океана расширяет возможности биогенного нефтегазообразования. Доказательством биогенного генезиса нефти является ее молекулярный состав. Обнаружение в нефти и продуктах ее природного преобразования биологических меток - хемофоссилий, начиная с порфиринов (Трейбс, 1934; Виноградов, 1964), позволило установить генетическую связь соединений нефти с определенными группами живого вещества.

Нефтематеринские отложения и нефтегазоносные комплексы

При прогнозировании нефтегазоносности важным является выделение в разрезе нефтегазоматеринских толщ и нефтегазоносных комплексов (НГК). Отложения накапливаются в субаквальной среде с анаэробной геохимической обстановкой в условиях устойчивого погружения бассейна седиментации. Они содержат в повышенных концентрациях ОВ, в котором присутствуют сингенетичные УВ. Породы с содержанием ОВ ниже 0,5 % даже при максимальной глубине погружения продуцируют малое количество УВ (менее 200 г/м³), недостаточное для образования промышленных скоплений. Нижним пределом концентрации C_{opr} в нефтематеринских породах является значение 0,1 % (Баженова, 2000). В процессе преобразования гумусового ОВ, захороненного в рассеянной форме, генерируются, главным образом, газообразные УВ. Среди материнских отложений выделяют породы, которые продуцируют преимущественно нефть или газ. Примером нефтематеринских пород могут служить бажениты Западно-Сибирской НГП, генерационный потенциал которых объясняется высокой обогащенностью их морским сапропелевым ОВ. Не менее важно, что на преобладающей части ОБ эти отложения находятся в пределах ГЗН. Примером газоматеринских пород являются отложения покурской свиты (К1а-K₂cm) Западной Сибири.

Естественным телом, где осуществлялись (и при соответствующих условиях осуществляются и ныне) процессы нефтегазогенерации, является нефтегазоматеринская свита (НГМ-свита). НГМ-свита — парагенетическая ассоциация обогащенных автохтонным ОВ пород, рождающая в процессе литогенетической эволюции углеводороды, способные к аккумуляции. Для сохранности ОВ в седиментогенезе и аэробном диагенезе наиболее благоприятны осадки пелитовой размерности; к тому же глинистые минералы хорошо адсорбируют растворенное ОВ из вод бассейна в процессе седиментации. Поэтому в ряду терригенных пород — от конгломератов до глин (аргиллитов) и глинисто-карбонатных пород обогащенность автохтонным ОВ находится в прямой зависимости от количества глинистой составляющей. В ряду карбонатные породы - карбонатные аргиллиты последние по концентрации ОВ не уступают чисто глинистым породам.

В каждой НГП выделяются *нефтегазоносные комплексы*, в которых сосредоточена значительная доля выявленных здесь ресурсов УВ. НГК, как правило, располагаются выше НГМ-пород (на 0.4-0.8 км и более), что объясняется миграцией УВ при формировании их залежей (Геология..., 1998).

НГК рассматриваются как природные системы, обладающие способностями аккумулировать УВ, а иногда и генерировать их. Главными составными элементами комплексов являются: порода-коллектор, порода-

флюидоупор и (не всегда) НГМ-порода (Баженова, 2000). Иногда комплексы отделяются друг от друга мощными толщами слабопроницаемых пород и представляют собой частично изолированную, полузакрытую систему со своими внутренними связями, определяющими распределение давлений, перетоки флюидов и т. д. Наряду с рассмотренными выше НГК существует понятие регионально нефтегазоносных комплексов (РНГК), под которыми А. А. Бакиров предложил понимать стратиграфические комплексы, характеризующиеся региональной нефтегазоносностью в пределах обширных территорий, охватывающих несколько крупных геоструктурных элементов.

Вместе с тем в каждой НГП в геологическом разрезе наряду с НГК выделяют *литолого-стратиграфические комплексы (ЛСК)*, в которых, несмотря на наличие в разрезе проницаемых пород, нет скоплений УВ или же содержатся залежи, второстепенные по значению.

Миграция нефти и газа и формирование их залежей

Под миграцией УВ понимают их перемещение в горных породах. Путями миграции служат поры и трещины в породах, а также поверхности наслоений разрывных нарушений и стратиграфических несогласий. Миграция может происходить в одном и том же пласте (толще), но возможно перемещение УВ из одного пласта (толщи) в другой. С этой точки зрения различают внутрипластовую (внутрирезервуарную) и межпластовую (межрезервуарную) миграции. Первая осуществляется по порам и трещинам внутри пласта, вторая – по разрывным нарушениям и стратиграфическим несогласиям из одного природного резервуара в другой. При межпластовой миграции УВ могут перемещаться также и по порам горных пород (диффузия). Перемещение газа (и нефти) при межпластовой миграции может происходить и через своеобразные «трубки взрыва», образующиеся в толще горных пород в результате огромного давления скопившихся под ними газов. И внутри- и межрезервуарная миграция могут иметь боковое (латеральное) направление - вдоль напластования, и вертикальное - нормальное к напластованию. С этой точки зрения различают боковую и вертикальную миграции.

По характеру движения и в зависимости от физического состояния УВ различают миграцию *молекулярную* (диффузия, движение в растворенном состоянии вместе с водой) и фазовую (в свободном состоянии). В последнем случае УВ могут находиться в жидком (нефть) и газообразном (газ) состояниях, а также в виде парообразного газонефтяного раствора.

По отношению к НГМ-толщам различают первичную и вторичную миграции. Процесс перехода УВ из пород, в которых они образовались (нефтегазопродуцировавших), в коллекторы получил название *первичной*

миграции. Миграция УВ вне материнских пород называется *вторичной* миграцией.

После седиментации из глинистых осадков отжимание свободной воды происходит при погружении пород до нескольких сотен метров. В раннем катагенезе из осадка и породы удаляется примерно 80 % водной фазы. Это главным образом свободная вода, которая не связана с минералами какими-либо силами. Переход связанной воды в «нормальную» происходит при достижении определенных глубин. Одновременно снижается плотность воды, возрастает ее объем, что является одной из причин возникновения аномально высокого пластового давления (АВПД). При переходе прочно связанной воды в свободное состояние вначале она обладает большой растворяющей способностью к жидким УВ и различным минералам. При перемещении в породу с более крупными порами она будет насыщаться солями, а растворенные УВ будут из нее выделяться и обособляться в отдельную фазу. Возникновение АВПД усиливается и генерацией УВ. В результате преобразования РОВ возникают жидкая и газовая фазы, объем которых больше по сравнению с твердым веществом. В связи с этим флюидное давление в порах увеличивается. При определенной его критической величине достигается пороговый уровень разности давлений на границах прослоев, богатых ОВ, где происходит генерация флюидов, и прослоев, где генерация незначительна. При превышении этого порогового уровня на этих границах происходят импульсные флюидоразрывы. Количество флюидоразрывов нарастает, и породы возле этих критических рубежей пронизываются системами микротрещин. Выделившаяся вода и УВ перемещаются по этим трещинам в зоны с меньшими давлениями. При дальнейшем погружении толщи флюидоразрывы могут повторяться по мере роста температуры и выделения новых порций флюидов. Повторение воздействия этого механизма на породы приводит к появлению системы трещин.

Газовые растворы вследствие их низкой вязкости и большой подвижности в тончайших порах могут обеспечивать первичную миграцию. При этом в ОБ, в частности в угленосных и слабоугленосных, генерируются громадные объемы газа. Все виды миграции происходят на фоне идущего потока диффузии, который может играть существенную роль. По расчетам Л. М. Зорькина, 65-70 % газа мигрируют из глинистых толщ в прилегающие водоносные коллекторы путем диффузии (Геология..., 1998).

Основными причинами *вторичной* миграции являются гравитационные силы всплывания нефти и газа в воде и гидродинамический напор воды УВ, попадая в коллектор, поровое пространство которого заполнено водой, стремятся занять наиболее высокое положение и перемещаются вверх. Миграция флюидов по пластам-коллекторам становится возможной при наличии наклона пласта и перепаде давления. А. Л. Козлов считает, что

наклон пласта 1-2 м/км достаточен для перемещения нефти и газа под действием гравитационных сил, выражающегося во всплывании их в водонасыщенных породах. Движению флюидов в пласте препятствуют капиллярные силы. Вода лучше, чем нефть, смачивает частицы пород и, легко поднимаясь по капиллярам, сужает пережимы в поровых каналах. При накоплении достаточного количества нефти и увеличении давления всплывания капиллярные силы преодолеваются. При подъеме нефти приходился преодолевать сопротивление воды, заполняющей капилляры. С ростом температуры на глубине значение величины поверхностного натяжения воды на границе с нефтью снижается, и сопротивление движения нефти уменьшается.

Гидравлический фактор заключается в том, что вода при движении в пластах-коллекторах увлекает за собой пузырьки газа и капельки нефти. Миграция УВ вместе с водой может происходить и в сорбированном (водой) состоянии. В процессе движения воды нефть и газ могут образовывать самостоятельные фазы. В. П. Савченко была предложена гипотеза струйной миграции нефти в коллекторах. УВ, выделяющиеся из материнских пород в коллектор, объединяются в струйки, которые сливаются в потоки, движущиеся по приподнятым частям валообразных поднятий.

Перераспределение давления и, соответственно, переток флюидов вызывают уплотнение и механическое сжатие пород. Песчано-алевритовые осадки с жестким скелетом могут остаться недоуплотненными, а выделяющаяся из более уплотняющихся глин вода (а вместе с ней и нефть) будет двигаться по этим песчаным пластам вверх по восстанию в области более низких давлений. В ОБ по мере погружения происходит перемещение зон перенапряжения и разрядки и постоянно идет переток флюидов. Осадочные породы в недрах нефтегазоносного бассейна представляют собой подвижную систему, в которой под действием различных факторов изменяются основные физические свойства, а также состояние флюидов. Эффект разуплотнения пород проявляется с особой силой, если он совпадает со временем повышенной генерации УВ. При этом насыщающие породы флюиды получают мощный импульс движения, происходит активная миграция. В связи с повторением разрушения и консолидации пород, чередованием уплотненных и разуплотненных зон, миграция носит пульсационный характер. Скорее всего, разуплотнение сопровождалось усилением генерации УВ или последняя даже была причиной разуплотнения. Неравномерное распределение давления в связи с увеличением объема флюидов и разуплотнением приводит к латеральному перемещению флюидов. В результате перетока флюидов во вновь возникших ловушках могут сформироваться или переформироваться залежи УВ.

По расстояниям перемещения миграция разделяется на региональную и локальную (Геология..., 1998). Первая контролируется соотношениями в

пространстве зон нефтегазообразования и нефтегазонакопления (ЗНГН). Дальность миграции определяется по расстоянию от наиболее прогнутой части ОБ до ближайших структур-ловушек на бортах бассейна. Расстояния при этом могут достигать десятков километров. Вторая контролируется отдельными структурами и различными осложнениями (экранами).

При первичной миграции вместе с отжимаемыми из глинистых материнских пород водами в пласт-коллектор перемещаются и УВ. Скорость миграции УВ в этом случае будет не меньше, чем воды. Интенсивность первичной миграции газа в растворённом состоянии вместе с элизионными водами составляет не более $n \cdot 10^{-6} \,\mathrm{M}^3/\mathrm{M}^2 \cdot \mathrm{год}$ (Геология..., 1998).

Вторичная миграция газа (и нефти) в растворенном состоянии происходит с той же скоростью и в том же направлении, что и движение пластовых вод. Пластовые воды перемещаются в основном в латеральном направлении (в область меньших пластовых давлений). Максимальные расстояния, миграции газа вместе с пластовыми водами могут достигать нескольких сот километров. По расчетам С. Г. Неручева, в платформенных областях в зависимости от проницаемости при наклонах в первые градусы, скорости миграции флюидов могут колебаться от 0,34 до 490 км/млн лет, а в складчатых областях при более крутых углах до 27600 км/млн лет (Геология..., 1998).

Диффузионный массоперенос газа, который осуществляется во всех направлениях через пустоты водонасыщенных горных пород, характеризуется наименьшими скоростями. Максимальные вертикальные расстояния при этом определяются диффузионной проницаемостью пород и временем процесса. По современным представлениям, эти расстояния вряд ли могут превысить 10 км.

Газ и нефть в *свободном* состоянии мигрируют преимущественно в вертикальном направлении к кровле пласта-коллектора, а затем в направлении восстания пласта. Миграция в этом случае характеризуется наибольшими скоростями. Скорость *струйной* миграции газа и нефти зависит главным образом от фазовой проницаемости пород для газа и нефти и пористости пласта, а также от вязкости УВ, угла наклона пласта и разности плотностей воды, нефти и газа в пластовых условиях. По расчетам А. Е. Гуревича, скорость движения газа при угле наклона 1° может составить 1 м/год, при угле наклона 70°–71 м/год. Расчеты В. П. Савченко показывают, что высота сечения струи при этом может быть около 1 м. Вертикальная миграция более явно проявляется в складчатых областях в связи с большей нарушенностью структур. В платформенных условиях УВ перемещаются не только вдоль пластов-коллекторов, но и по вертикали. Восходящие флюидодинамические потоки являются одним из основных факторов миграции, они же способствуют созданию и структурных форм (Баженова, 2000).

При генерации газа (и нефти) в самом природном резервуаре либо в подстилающих его газоматеринских (нефтематеринских) отложениях, уже насыщенных газом поровых вод, генерируемый газ (и, возможно, нефть) оказывается в свободном состоянии и мигрирует в ловушку. Расстояния, на которые мигрирует газ (и, возможно, нефть) не будут превышать размеров зоны влияния ловушки.

При вертикальном (межпластовом) перетоке УВ из нижележащей залежи или при латеральной миграции их из одной ловушки в другую расстояние миграции будет контролироваться геологической обстановкой, в которой осуществляется перемещение струи газа или нефти. Масштабы миграции за длительный срок могут быть значительными.

Нефть и газ при *миграции в свободной* фазе перемещаются в пластеколлекторе в направлении восстания пласта. В первой же ловушке будет происходить их аккумуляция и образование залежи. Если нефти и газа достаточно для заполнения целого ряда ловушек, лежащих на пути их миграции, то первая ловушка заполнится газом, вторая может быть заполнена нефтью и газом, третья — лишь нефтью, а все остальные, расположенные гипсометрически выше, могут содержать воду.

Подобная ситуация является нестабильной и разрушается по причине погружения, изменения структурного плана, изменения гидродинамического режима и др. В описанном случае происходит так называемое *дифференциальное улавливание* нефти и газа. Миграция УВ в свободном состоянии может осуществляться не только внутри пласта-коллектора, но и через разрывные нарушения, что также приводит к формированию залежей.

Если в пласте-коллекторе происходит движение *нефти с растворенным в ней газом*, то на больших глубинах ловушки будут заполнены. После заполнения ловушек УВ будут мигрировать вверх по восстанию пластов. На участке, где пластовое давление окажется ниже давления насыщения, газ будет выделяться из нефти в свободную фазу и поступать вместе с нефтью в ближайшую ловушку. В ней может образоваться нефтяная залежь с газовой шапкой, или, если газа будет много, она заполнится газом, а нефть будет вытеснена им в следующую гипсометрически выше расположенную ловушку, которая будет содержать газонефтяную или нефтяную залежь. Если УВ не хватает для заполнения всех ловушек, то наиболее высокорасположенные из них будут заполнены только водой. Таким образом, *дифференциальное улавливание* нефти и газа имеет место при формировании их залежей в тех случаях, когда движение нефти и газа осуществляется в свободной фазе.

Формирование залежей происходит не только при латеральной (внутрирезервуарной) миграции УВ. Аккумуляция их имеет место и при

вертикальной (межрезервуарной) их миграции. В латеральном и вертикальном направлениях УВ могут мигрировать и в рассеянном виде.

Скорость накопления нефти в ловушках, определенная И. В. Высоцким, составляет от 12 до 700 т/год, а продолжительность формирования газовых залежей составляет $n \cdot 10^{-6} \,\mathrm{M}^3/\mathrm{M}^2 \cdot \mathrm{год}$ (Геология..., 1998).

Процессы миграции и аккумуляции УВ происходят в изменяющейся геологической обстановке. В одних случаях образуются первичные залежи – из рассеянных УВ, в других – вторичные, за счет УВ расформировавшихся первичных залежей. В отдельных случаях залежи могут образовываться «на месте» (если толщи содержат линзы или не связанные между собой прослои пород-коллекторов, окруженные непроницаемыми пластами).

Свидетельством разрушения залежей УВ являются следы бывших ВНК, которые запечатываются в породе в виде тяжелой нефти, скоплений сульфидов и новообразованных карбонатов. Тектонические движения могут привести к наклону ловушки или образованию дизъюнктивного нарушения, тогда УВ из нее будут мигрировать в другую ловушку или на поверхность. К рассеиванию УВ ведет размыв залежей в сводах антиклинальных структур, если нефтегазосодержащие породы были выведены на поверхность. Залежи нефти могут окисляться при их попадании в зону гипергенеза. Под действием инфильтрационных вод, бактерий происходит дегазация, выпадение твердых парафинов, обогащение нефти аренами, смолами и асфальтенами. Возрастают плотность и вязкость нефти, которая переходит в мальту и асфальт. Изменение нефти происходит и при погружении залежей в область высоких температур и давлений. Суть изменений заключается в появлении низкомолекулярных алканов и высокомолекулярных ароматических соединений (Волков, 1993). Процесс завершается образованием метана и твердого углеродного вещества. Для газовых залежей разрушающим фактором служит диффузия газов сквозь покрышку.

Литература

Геология и геохимия нефти и газа / О. К. Баженова, Ю. К. Бурлин, Б. А. Соколов, В. Е. Хаин. М.: Изд-во МГУ, 2000. 384 с.

Геология нефти и газа и нефтегазоносные провинции / А. К. Мальцева, Э. А. Бакиров, В. И. Ермолкин, В. И. Ларин, Л. В. Каламкаров, Э. Л. Рожков. М.: Нефть и газ, 1998. 175 с.

Русский В. И. Геология нефти и газа: учебное пособие. Екатерин-бург: Изд-во УГГУ, 2005. 183с.

10. НЕФТЕГАЗОНОСНЫЕ ПРОВИНЦИИ РОССИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Классификация нефтегазоносных территорий

Исходя из приуроченности нефтегазоносных территорий мира к различным типам геоструктурных элементов земной коры, А. А. Бакиров (1990, 1993) разработал классификацию и соподчиненность различных единиц нефтегазогеологического районирования. Основываясь на тектоническом принципе, он рекомендует выделять в платформенных и складчатых территориях нефтегазоносные провинции, области, районы и зоны нефтегазонакопления.

Нефтегазоносная провинция — единая геологическая провинция, объединяющая ассоциацию смежных нефтегазоносных областей и характеризующаяся сходством черт региональной геологии, в том числе общностью стратиграфического положения основных РНГК в разрезе.

Другие исследователи (Брод И. О., Еременко Н. А., Вассоевич Н. Б., Высоцкий И. В. и др.), исходя из того, что седиментационный бассейн является наиболее благоприятным для нефтегазообразования и накопления структурных элементов, принимают за основу районирования *нефтегазоносный бассейн* (НГБ) — область устойчивого и длительного погружения земной коры, в процессе которого формируются тела осадочных пород, состав, строение, прогрессивный литогенез и условия залегания которых обусловливают образование, накопление и сохранность в них промышленных скоплений нефти и газа. Термины НГП и НГБ в настоящее время существуют параллельно, т. е. можно встретить описание, например, как Западно-Сибирской НГП, так и Западно-Сибирского НГБ.

Нефтегазоносная область (НГО) — территория, приуроченная к одному из крупных геоструктурных элементов, характеризующихся общностью геологического строения и геологической истории развития, включая палеогеографические и литолого-фациальные условия нефтегазообразования и нефтегазонакопления в течение крупных отрезков геологической истории.

Нефтегазоносный район — часть НГО, объединяющая ту или иную ассоциацию зон нефтегазонакопления и выделяющаяся по геоструктурному или еографическому признаку.

Зона нефтегазонакопления – ассоциация смежных, сходных по геологическому строению месторождений УВ, приуроченных к определенной или в целом единой группе связанных между собой ловушек.

Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран

В мире выявлено 430 НГБ и возможно НГБ, из числа которых 34 бассейна отнесены к наиболее богатым (прил. 11). Среди них выделяют семь уникальных НГБ с начальными извлекаемыми ресурсами (НИР) нефти более 10 млрд т – Центрально-Европейский, Волго-Уральский, Западно-Сибирский, Лено-Тунгусский, Персидского залива, Мексиканского залива и Сахаро-Восточно-Средиземноморский - контролирующих 48 % рентабельных ресурсов мира, и восемь бассейнов (кроме перечисленных еще Маракайбский), содержащих 59 % НИР нефти мира. Даже среди этих богатейших по запасам УВ территорий выделяется мегабассейн Персидского залива. Он приурочен к крупной впадине, сформировавшейся в области сочленения Аравийской плиты с Тавро-Загросской областью альпийской складчатости. Основными тектоническими элементами бассейна являются Аравийская плита и Месопотамский краевой прогиб. Осадочный чехол, залегающий на архейско-протерозойском фундаменте, слагается отложениями от вендского до четвертичного возраста максимальной мощностью до 13 км. В Месопотамском прогибе скопления УВ приурочены главным образом к олигоцен-нижнемиоценовым и верхнемеловым карбонатным породам. На Аравийской плите нефтеносны песчаники нижнего мела и известняки верхней юры, газоносны карбонатные породы пермского возраста. Основные разведанные запасы УВ в бассейне заключены в интервалах глубин 1-3 км. НИР УВ в пределах суши – 118 млрд т, в том числе по нефти и конденсату – 90 млрд т, по свободному газу – 28 трлн м³. Выявлено (1986) 371 нефтяное и газонефтяное и 55 газовых месторождений, в том числе 36 нефтяных и 6 газовых месторождений-гигантов с начальными промышленными запасами свыше 300 млн т нефти и 500 млрд м³ газа. Крупнейшие нефтяные месторождения – Гавар (10,1 – 11,1 млрд т), Большой Бурган (9,1 – 10,2 млрд т); газовые – Северно-Южный Парс (12,7 трлн M^3), Кенган (7-8 трлн M^3).

Нефтяное месторождение Гавар (Гхавар) находится в Саудовской Аравии. Оно приурочено к валу размером $16\text{-}25 \times 230$ км и амплитудой 370 м. Залежи пластовые массивные. Нефтеносны верхне- и среднеюрские известняки на глубине 1550 - 2050 м. Коллектор порово-кавернозный, пористость до 15-30 %, проницаемость 0,8-1,5 Д. Средний дебит одной скважины превышал 2000 т/сут. На месторождении добывалось до 280 млн т в год. Газовое месторождение Северное-Южный Парс расположено в Катаре и Иране, в центральной части Персидского залива. Месторождение размером 160×70 км приурочено к валу. Скопления нефти выявлены в меловых и юрских, газа - нижнетриасовых-верхнепермских отложениях. Газоносны известняки и доломиты свиты хуфф ($T_1 - P_2$), в которой выделяются четыре

коллекторских горизонта, разделенных ангидритовыми покрышками. Коллекторы порово-трещинные, пористость до 30 %, проницаемость 1,2 - 8,0 Д.

Нефтегазоносные провинции России

В литературе приведены различные классификации нефтегазоносных территорий России и сопредельных стран, которые в целом выдерживают заложенный И. М. Губкиным тектонический принцип, т. е. разделение их по приуроченности к крупным геоструктурным элементам платформенных, складчатых и переходных областей. Вслед за учеными РГУНГ им. И. М. Губкина (Мальцева и др. 1998; Каламкаров, 2005) мы выделяем НГП древних и молодых платформ, а также переходных территорий (прил. 12). На древней Восточно-Европейской платформе это: Тимано-Печорская, Волго-Уральская, Прикаспийская НГП, и Балтийская НГП (последняя многими авторами «понижается» до НГО), Днепровско-Припятская ГНП. На древней Сибирской платформе выделяют две ГНП – Лено-Вилюйскую и Енисейско-Анабарскую и одну НГП – Лено-Тунгусскую. В границах России и сопредельных государств к НГП молодых платформ относят Западно-Сибирскую, Туранскую и Предкавказско-Крымскую. К провинциям переходных территорий принадлежат приуроченные к передовым прогибам: Предуральская, Предкавказская, Предкарпатская НГП, а также Предверхоянская ГП. НГП складчатых территорий являются: Закавказская, Западно-Туркменская, Тянь-Шань-Памирская и Охотская. Особенностью последних лет является включение в классификации и рассмотрение НГП и перспективных НГО, связанных с шельфами арктических и дальневосточных морей (Каламкаров, 2005). Ниже в качестве примеров кратко рассмотрены Волго-Уральская, Баренцевоморская и Западно-Сибирская НГП.

Волго-Уральская нефтегазоносная провинция

Волго-Уральская НГП — один из старейших нефтедобывающих регионов, обеспечивавших в начале XXI века около 25 % добычи нефти России. Провинция приурочена в тектоническом отношении к восточной части Русской плиты. На архейско-протерозойском кристаллическом фундаменте с угловым и стратиграфическим несогласием залегают рифейсковендские крупнообломочные отложения, обладающие признаками промежуточного структурного этажа (ПСЭ). Плитный чехол, представленный отложениями венда и фанерозоя, развит практически повсеместно и характеризуется в целом более спокойным по сравнению с предыдущим этажом залеганием пород (Каламкаров, 2005). В составе платформенного чехла выделяют несколько структурных комплексов, из которых наиболее широ-

ко распространенным и содержащим промышленную нефтегазоносность является среднедевонско-триасовый (Габриэлянц и др., 1991). Основными положительными структурами являются выступы фундамента, которым в осадочном чехле соответствуют крупные своды, разделенные отрицательными структурными элементами — впадинами. В пределах сводов фундамент залегает на глубинах 1,4-2 км, в депрессионных зонах -4,5-6 км. В Волго-Уральской НГП широко развиты линейные дислокации, соответствующие разломам фундамента. К ним в чехле приурочены валы и флексуры, осложненные более чем 2 тыс. куполовидных и брахиантиклинальных локальных поднятий (ЛП), имеющих размеры от 1×2 до 10×15 км и амплитуды от 10 до 100 м и более. В осадочном чехле Волго-Уральской НГП выделяют более 60 продуктивных пластов, объединенных в несколько основных и возможных терригенных и карбонатных НГК в возрастном интервале отложений от рифея до верхней перми, из которых основным по запасам нефти является среднедевонско-нижнефранский терригеновый.

На основании данных бурения, геофизических и других исследований в составе Волго-Уральской НГП выделены 10 НГО. Более 35 % ресурсов нефти провинции содержит Татарская НГО. В ней находится уникальное по начальным запасам нефти (2976 млн т; Мазур, 2004) Ромашкинское многопластовое (более 200 залежей) месторождение. Высота структуры по отложениям девона 60 м, общая мощность осадочного чехла около 2 км. Основная залежь здесь в пашийском горизонте (пласт D₁), содержащем нефтенасыщенные прослои с общей мощностью коллекторов 30 – 50 м и средней нефтенасыщенной толщиной 10 – 15 м, пористость песчаников 15 -26 %, проницаемость 0.04 - 2 мкм². Начальные дебиты отдельных скважин для пласта D₁ изменялись от 30 до 400 т/сут. Тип залежей сводовый с пластовым резервуаром. В Соль-Илецкой (Оренбургской) ГНО состредоточено около половины газовых ресурсов Урало-Поволжья и расположено уникальное по запасам свободного газа (1,9 трлн м³; Горючие газы: справочник, 1998) Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение. Оно приурочено к асимметричному валу размером 100×22 км и амплитудой 700 м в подсолевых нижнепермских отложениях. Выявлено три залежи в карбонатных породах: артинско-среднекаменноугольная (массивная, этаж нефтегазоносности 532 м, ГНК на отметке – 1750 м), филипповская (подошва кунгурского яруса, пластовая сводовая, этаж газоносности 504 м, ГНК на отметке - 1690 м, ВНК на отметке - 1760 м) и среднекаменноугольная (массивная, глубина 2076 – 2359 м).

В целом в Волго-Уральской НГП продуктивные горизонты выявлены на глубинах от 0,5 до 5 км и более, основные же запасы УВ находятся на глубинах от 1 до 2 км. Большинство месторождений нефти и газа приурочены к антиклиналям и куполовидным поднятиям с соответствием струк-

турных форм, усиливающимся с глубиной в отложениях карбона и девона. Основной объем разведанных запасов нефти сосредоточен в крупных сводовых, но малоамплитудных ловушках, не затронутых дизъюнктивными нарушениями; во впадинах, прогибах и на погружениях свода возрастает роль неструктурных ловушек. На месторождениях, обычно многопластовых, количество продуктивных залежей варьирует в широких пределах.

В провинции открыто 1258 месторождений, из них 1044 нефтяных (Грунис, Байрак, 2005). В общем балансе НСР УВ нефть составляет 74 %, свободный газ – 20 %, растворенный газ – 5 %, конденсат – 1 % (Халимов, 1994). Наибольшую часть НСР нефти (по оценке на 01.01.1993 г.) составляют запасы категорий $A+B+C_1$, более 90 % которых разрабатывается. Основные НГК по содержанию разведанных запасов нефти находятся в стратиграфическом диапазоне \mathcal{L}_2 - \mathcal{L}_2 , причем терригенные комплексы по объему содержащихся в них запасов превосходят карбонатные. Более 80 % запасов свободного газа категорий $A+B+C_1$ и 60 % категории C_2 сосредоточено на Оренбургском месторождении, в основном в нижнепермских отложениях.

Нефтегазоносные провинции и области Западной Арктики

Общие потенциальные ресурсы нефти и газа в недрах Мирового океана (МО) оцениваются в 1,8-2,1 трлн т у. т, что превышает разведанные запасы УВ-сырья на суше. Несмотря на то что бурение скважин и эксплуатация месторождений нефти и газа на акваториях, особенно арктических морей, является сложным и дорогостоящим процессом, за последние 40 лет объем работ в шельфовой зоне увеличился примерно в 10 раз. К настоящему времени здесь выявлено более 1000 морских месторождений нефти и газа (Мексиканский и Персидский заливы, Северное море; у берегов Аляски, Калифорнии, Западной Африки, Южной Америки и др.).

Из 26 млн км² площади всех ОБ МО почти 25 % приходится на Россию. 75 % площади российского шельфа полагают перспективными на выявление скоплений УВ. По оценкам специалистов, в недрах континентального шельфа России сосредоточено свыше 45 % общих НСР УВ шельфа всего МО (Мальцева и др., 1998). Доказанные и вероятные запасы УВ месторождений на шельфе России составляют 10,9 млрд т у. т (Орлов, 2007), при этом в структуре извлекаемых запасов преобладает газ, нефть и конденсат составляют около 10 %. Основные запасы УВ установлены в Баренцевом, Печорском и Каспийском морях; на Южно-Карском и Северосахалинском шельфах. В арктических морях России сконцентрировано до 90 % потенциальных ресурсов УВ российского шельфа. Здесь наиболее изученным является Баренцевоморский шельф (БМШ), занимающий северо-восточную окраину Восточно-Европейской платформы – Баренцевоморскую плиту.

Фундамент ОБ БМШ исследован в прибортовых частях (Шпицберген, Новая Земля), где он представлен в основном кристаллическими породами архея-протерозоя. По результатам сейсмических исследований в разрезе осадочного чехла бассейнов (впадин) БМШ прослеживают 3 ЛСК (Ступакова, 1999). Нижний ЛСК — рифей-палеозойский — наиболее полно изучен в акваториальной части Тимано-Печорской НГП. Средний ЛСК — пермо-триасовый — слагает основную часть разреза и формирует современный структурный план всего БМШ. Мощность этого терригенного комплекса, по данным сейсмики, изменяется от 0,1 до 1,0 км на Крайнем Севере до 6-12 км и более — в центральных частях Северо- и Южно-Баренцевской впадин. Верхний ЛСК представлен терригенными породами юры, мела и палеоген-неогена.

В Баренцевоморском НГБ месторождения УВ выявлены в южных областях плиты, где они связаны с НГК Южно-Баренцевской впадины. В пределах последней установлены залежи УВ в резервуарах пермотриасового и юрского НГК (Ступакова, 1999). Первый сложен песчаноглинистой толщей мощностью от 5 до 7 км. Толщина песчаных горизонтов составляет 10-50 м, пористость песчаников изменяется от 15 до 20-30 %, проницаемость 0,2-0,5 мкм². Комплекс содержит газовые и газоконденсатные залежи линзовидного строения, неконтролируемые структурным фактором. Второй (мощностью 700-1200 м) представлен глинистой толщей с пачками песчаников толщиной 20-80 м. Региональным флюидоупором для них служит однородная глинистая толща мощностью 100-200 м позднеюрского-раннемелового возраста. ФЕС коллекторов таковы: средняя пористость составляет 20-25 %, проницаемость от 0,5 до 1,5 мкм². В пластовых резервуарах комплекса выявлены газовые залежи, контролируемые крупными антиклинальными структурами. К юрскому НГК относится уникальное по запасам Штокмановское газоконденсатное месторождение (3,7 трлн м³ газа и 31 млн т конденсата). На нем глубина залегания продуктивных пластов в сводовой части структуры составляет 60-2920 м. Кроме Штокмановского на БМШ выявлены еще 6 газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений с залежами в терригенных коллекторах перми-юры. К шельфовым относят и 6 нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Печорского моря с залежами в карбонатных и терригенных коллекторах и возрастном диапазоне коллекторов от раннего девона по позднюю пермь.

На востоке Западной Арктики, в южной части шельфа Карского моря, выявлены уникальные по запасам Ленинградское и Русиновское газоконденсатные месторождения (суммарно более 8 трлн м³) с пластовыми сводовыми залежами в терригенных породах апта-сеномана. Учение МГУ (Баженова и др., 2009) рассматривают Баренцево-Западно-Сибирский ре-

гион с его гигантскими газовыми и газоконденсатными месторождениями как мировой центр максимальной газоносности.

Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция

Стратиграфия

Западно-Сибирская НГМП в геотектоническом отношении соответствует одноименной плите. В центральных частях Западно-Сибирской плиты (ЗСП) образования фундамента погружены на 3,0-3,5 км, а перепады глубин между опущенными и приподнятыми блоками не превышают 0,5-1,0 км. На севере плиты рельеф фундамента более контрастен: глубина его залегания достигает 6-9 км (Сурков и др., 1992); перепады между впадинами и поднятиями — 3-5 км.

К *доплитным комплексам* ЗСП относят палеозойские и частично триасовые образования. Первые принадлежат к различным формациям, вторые (рифтовый комплекс) обнаружены в зонах грабен-рифтов и в локальных депрессиях фундамента, где слагают промежуточный структурный этаж (ПСЭ).

Общая площадь развития рифтового комплекса установлена на севере ЗСП. Вулканогенно-осадочные породы триаса выделены в большей части ЗСП в туринскую серию $(T_1 - T_2^{1-2})$. На северо-востоке ЗСП к ПСЭ относят образования красноселькупской серии (базальты, туфы, терригенные породы) перми — нижнего триаса.

Мезозойско-кайнозойские отложения образуют мощный осадочный чехол ЗСП. По особенностям их распространения, состава и формирования в *плитном комплексе* выделяют три подкомплекса: нижний – $(T_2$ - J_2 aa-bt), средний – (J_2k-P) и верхнеплитный $(P_2$ -Q).

На севере ЗСП на вулканогенно-осадочных образованиях туринской и красноселькупской серий плащеобразно залегают глинисто-алеврито-песчаные прибрежно-морские осадки тампейской серии (T_{2-3}) мощностью до 2,0-2,5 км. Выше они с условным и стратиграфическим несогласием перекрываются терригенными породами большехетской серии (J_{1-2}) мощностью 1,5-2,0 км в низах разреза нижнеплитного подкомплекса центральной и южной частей ЗСП преобладают континентальные отложения (шеркалинская, горелая и другие свиты нижней юры). Эти породы залегают фрагментарно, приурочиваясь главным образом к депрессиям, и выравнивают доюрский эрозионно-денудационный рельеф. Среднеюрскую часть разреза (J_2aa -bt) нижнеплитного подкомплекса, представленную чередующимися песчано-алеврито-глинистыми, часто угленосными породами мощностью от 250 до 700 м, для большей части ЗСП принимают в объеме

тюменской свиты. Ее отложения характеризуются фациальной изменчивостью и литологической неоднородностью, неравномерной насыщенностью углефицированными растительными остатками.

Среднеплитный подкомплекс, формирование которого протекало в обширном морском бассейне, по особенностям развития и фациальной характеристике разделяют на три части: нижнюю $(J_2k - J_3tt)$), среднюю $(K_1be - K_1ap_1)$ и верхнюю $(K_1ap_2 - P)$. Средне-верхнеюрские отложения сложены в основном морскими и прибрежно-морскими терригенными толщами. Среди них встречаются как глинистые горизонты, служащие флюидоупорами (пахомовская пачка, J_2k ; георгиевская свита, J_3km), так и песчано-алеврито-глинистые, иногда с прослоями известняков толщи, включающие коллекторы (вогулкинская толща, абалакская, васюганская и др. свиты). Отложения титона — раннего берриаса представлены относительно глубо-ководными морскими тонкоплитчатыми аргиллитами баженовской свиты, развитыми в центральных районах ЗСП, и мелководно-морскими алеврито-глинистыми породами ее возрастных аналогов по периферии плиты.

Среди толщи баженовской свиты выделяют собственно бажениты, уникально богатые планктонно-бактериальным ОВ и содержащие $C_{\rm opr} > 6$ %. Баженовская свита и ее возрастные аналоги образуют верхнеюрский региональный флюидоупор, являющийся одновременно и нефтематеринской толщей (Нефтематеринские..., 1998), а в ряде регионов – и коллектором.

Средняя часть среднеплитного подкомплекса представляет собой толщу полифациальных (в низах дельтовых, шельфовых, склоновых, выше - морских и прибрежно-морских) отложений мощностью до 2,5 км. Для нижней части неокомского разреза установлено ступенчатое положение песчаных продуктивных пластов, омолаживающихся при движении с юговостока на северо-запад, и предложена его регионально-косослоистая (клиноформная) модель (Трушкова, 1969; Наумов, 1977; Корнев, 2002 и др.). По современным представлениям для берриас-готеривского бассейна ЗСП имело место некомпенсированное прогибание. Его постепенное заполнение обломочным материалом, главным образом с востока и меньше – запада, происходило путем формирования палеосклона песчаноалевритовыми телами. Основные песчаные пласты формировались в пределах шельфовой террасы, замещаясь глинистыми разностями при переходе террасы к ее склону. Излишки песчаного материала транзитом выносились за пределы террасы к подножию ее склона и формировали наклонные песчаные линзы ачимовской толщи. Во время трансгрессий глинистопесчаные образования террас и их склонов перекрывались глинистыми пачками. Следующий за трансгрессией этап повторял описанный процесс образования более молодых песчано-алевритовых тел, которые закономерно смещались к оси неокомской палеовпадины (Гурари, 2003 и др.). По мнению многих авторов, концевые нижние (фондоформы) песчаники каждой клиноформы, наиболее приближенные к кровле баженовской свиты, — это ачимовская пачка (Бабушкин, Гурари и др., 2000). Иногда ачимовские песчано-алевритовые тела выклиниваются среди битуминозных глин (так называемые аномальные разрезы баженовской свиты).

Стратиграфический интервал в объеме среднего апта-эоцена характеризуется также трехчленным строением. Нижняя $(K_1ap_2 - K_2cm)$ группа отложений (покурская свита) представлена прибрежно-континентальными и прибрежно-морскими песчано-алеврито-глинистыми образованиями мощностью до 1300 м; средняя $(K_2t - Pd)$ — морскими тонкоотмученными породами кремнисто-глинистого состава. Это региональная покрышка для песчано-алевритовых пород апт-сеномана. Верхняя группа отложений $(P_1 - P_2)$ также характеризуется широким развитием морских осадков, но другого формационного состава. Мощность ее вместе с отложениями верхнеплитного подкомплекса до 500 м. Последний $(P_2 - Q)$ характеризуется накоплением континентальных и, частично, морских отложений.

Сводный стратиграфический разрез центральной и юго-восточной частей Западно-Сибирского осадочного бассейна приведен в *прил. 13*. Здесь же показаны основные сейсмические отражающие горизонты (ОГ) и нефтегазоносные комплексы.

Тектоника

Структурный план мезозойско-кайнозойского чехла ЗСП формировался под воздействием движений разновозрастных блоков фундамента, что хорошо видно на сейсмостратиграфическом разрезе (см. прил. 10). Структурные зоны триасовой рифтовой системы продолжали унаследованно развиваться на протяжении мезозоя и кайнозоя и, по мнению многих авторов, сыграли определяющую роль в формировании структур чехла и его нефтегазоносности. Над рифтами в мезозойско-кайнозойском чехле были сформированы желоба, а над обширными межрифтовыми зонами поднятий – крупные сложнопостроенные изометричные поднятия. Над узкими межрифтовыми поднятиями образовались вытянутые мегавалы.

В разрезе плитного комплекса выделяют региональные структурнотектонические зоны: Внешний тектонический пояс, Южную тектоническую область (или Обскую региональную террасу), Северную тектоническую область. В каждой из них имеются своды, мегавалы, мегапрогибы, впадины, моноклинали.

В пределах западной части Внешнего тектонического пояса многие структурные формы незамкнуты и наклонены к центральной части плат-

формы. Мощность чехла здесь не более 2-2,2 км, и сложен он в основном верхнеюрско-палеогеновыми отложениями. Наиболее крупные структурные формы — моноклинали длиной до 200-300 км и шириной до 100 км. Отдельные мегавалы, амплитуда которых по кровле верхней юры достигает 100-300 м, контролируют зоны нефтегазонакопления.

В пределах южной тектонической области глубины залегания подошвы доюрского комплекса колеблются от 2,2 до 4 км. Плитный комплекс сложен отложениями от нижней юры до олигоцена. Здесь выделены своды и мегавалы, контролирующие большинство выявленных месторождений нефти. Амплитуда этих положительных структур по подошве чехла 200-300 м. Для восточной части области характерно чередование крупных линейных поднятий и прогибов. Здесь амплитуда мегавалов по подошве чехла колеблется от 100 до 300 м.

Северная тектоническая область (Ямало-Тазовская мегасинеклиза) широтным Нижнемессояхским мегавалом разделяется на две синеклизы: Ямало-Гыданскую и Надым-Тазовскую. В пределах мегасинеклизы в разрезе чехла выделяют более 10 крупных впадин и мегапрогибов, а также около 20 мегавалов и нескольких сводов. Мегавалы характеризуются высокими амплитудами по кровле верхей юры (400-1200 м) и еще большими по подошве плитного комплекса. Структурные элементы Северной тектонической области фиксируются по всем горизонтам платформенного чехла. Крупные структуры ЗСП осложнены свыше 1200 ЛП размерами от 2×3 до 30×50 км. Амплитуды структур по нижним горизонтам мезозоя от десятка метров до 800 м; вверх по разрезу амплитуды уменьшаются и по горизонтам палеогена не превышают 10-50 м. Углы наклона крыльев структур достигают по поверхности фундамента 10-12°, по мезозойским породам 2-5°, по породам палеогена 20-30'. Большинству ЛП соответствуют приподнятые блоки в фундаменте (Словарь..., 1988).

Нефтегазоносные комплексы

В Западно-Сибирской НГМП выделяют 10 НГК и 11 НГО, краткая характеристика которых приведена ниже.

Палеозойский НГК представлен разными по составу породами фундамента ЗСП, в которых открыто более 100 залежей нефти и газа. По возрасту вмещающих пород больше их в отложениях девона-карбона. Коллекторы здесь двух типов: коры выветривания на эрозионных выступах, а также катагенетически и гидротермально измененные породы. Залежи стратиграфические, литологические с тектоническими экранами, смешанные; обычно им присваивается индекс М. На этот НГК приходится до 7 % ресурсов УВ Западной Сибири (Салманов и др., 2003).

Hижнеюрский HГK объединяет продуктивные пласты O_{10} и O_{11} шеркалинской свиты и ее аналогов, приуроченных к базальной части платформенного чехла. В состав комплекса входят и глинистые покрышки над пластами O_{11} (тогурская) и O_{10} (радомская). Литологически коллекторы представлены русловыми песчаниками, гравелитами, конгломератами с прослоями алевролитов, заполняющими эрозионные ложбины или тектонические прогибы в породах фундамента.

Среднеюрский НГК сложен отложениями тюменской свиты, региональной покрышкой для которых служит глинистая толща нижнего келловея. К сводовым частям палеоподнятий происходит выклинивание и сокращение толщин нижних горизонтов комплекса. Поэтому максимально распространены верхние горизонты тюменской свиты — пласты $\mathrm{HO}_2-\mathrm{HO}_3$. Коллекторские свойства пород комплекса весьма различны вследствие полифациального состава отложений. Преобладают структурно-литологические и литологические залежи УВ. В комплексе выявлено около 150 преимущественно нефтяных залежей и сосредоточено 15 % ресурсов УВ мегапровинции.

Залежи УВ васюганского НГК заключены в резервуарах свит верхнеюрского возраста. В верхах комплекса над продуктивным горизонтом Ю₁ развиты аргиллиты георгиевской экранирующей толщи. Коллекторы комплекса представлены песчаниками, реже — глинистыми известняками кавернозно-трещинного типа. В природных резервуарах комплекса выявлено более 200 преимущественно нефтяных залежей в структурных и структурно-литологических ловушках. С комплексом связано 6 % ресурсного потенциала мегапровинции.

Баженовский НГК сложен битуминозными породами карбонатно-органогенно-глинистого состава одноименной свиты: ее бажениты имеют аномально высокое (до 22-25 %) содержание ОВ и битумоидов (Карогодин и др., 2000). Все притоки получены из толщ с высоким содержанием $C_{\rm opr}$ и вторичными преобразованиями пород. Залежи в баженовском НГК не имеют краевых и подошвенных вод. Комплекс содержит только залежи нефти, составляющие около 9 % суммарных запасов провинции.

К ачимовскому НГК отнесены песчано-алевритовые породы одноименной толщи, слагающие самые низы разреза неокома. Основные залежи УВ в ачимовской толще приурочены к песчано-алевритовым линзам мощностью 40-60 м. Залежи УВ в ачимовской толще преимущественно литологически экранированные и ограниченные. Доля комплекса в ресурсах нефти Западно-Сибирской НГМП составляет 9 %, газа 5 %.

Верхненеокомский НГК представлен толщей переслаивающихся песчаников, алевролитов и глин, перекрытой региональной нижнеаптской глинистой покрышкой. К нему отнесены преимущественно готерив-барремские продуктивные пласты ряда НГО и НГР. В целом в неокоме ЗСП открыто более 600 залежей УВ, в том числе более 400 нефтяных. Большинство нефтяных залежей концентрируются в центральных районах ЗСП. Зона распространения нефтегазоконденсатных залежей приурочена к Надым-Пурской и Пур-Тазовской областям. Газовые и газоконденсатные залежи сосредоточены в основном на Ямале и Гыдане. Большинство открытых залежей приурочено к ловушкам структурного типа, перспективы связываются также с литологическими и структурно-литологическими ловушками.

Аптский (апт-нижнеальбский) НГК больше распространен в северных районах провинции и представлен мелкозернистыми песчаниками с прослоями алевролитов, глин, углей. Покрышкой является толща морских альбских глин, надежной при мощности не менее 40-50 м. Основные ресурсы комплекса приходятся на п-ов Ямал и юг акватории Карского моря (танопчинская свита). Доля комплекса в ресурсах газа Западной Сибири составляет около 10 %.

Мощность сеноманского НГК достигает в северных районах провинции 1600 м, что создает благоприятные условия для формирования в нем массивных залежей УВ. Он представлен переслаиванием песчаников, алевролитов, глин и углей покурской свиты. Региональной покрышкой служит мощная (500-800 м) толща турон-палеогеновых глин. Комплекс содержит 60 % разведанных запасов газа Западной Сибири. С ним связаны Уренгойское, Заполярное и другие крупнейшие месторождения. Зоны газонакопления контролируются крупными поднятиями, воздымающимися в неоген-четвертичное время.

Нефтегазоносные области

Среднеобская НГО расположена в центре ЗСП (рис. 10.1) и охватывает Сургутский, Нижневартовский своды и др. поднятия. В пределах этой области выявлено более 70 нефтяных и нефтегазовых месторождений, включая крупнейшие по запасам Самотлорское, Мамонтовское, Приобское и др. Большинство из них многопластовые, содержат крупные, в том числе массивные нефтяные, реже нефтегазовые залежи, контролируемые антиклинальными ловушками в баррем-нижнеаптских отложениях. Нефтяные месторождения присводовых зон, склонов, бортов впадин (Покачевское, Повховское и др.) характеризуются наличием структурно-литологических залежей.

Крупнейшее в России Самотлорское нефтегазовое месторождение (Нефти: справочник, 1998, начальные запасы — 4 млрд т) расположено на Нижневартовском своде в пределах куполовидных поднятий, объединяющих несколько структур и имеющих амплитуды порядка 50-100 м. На палеозойском фундаменте залегают породы юрского-палеогенового возраста.

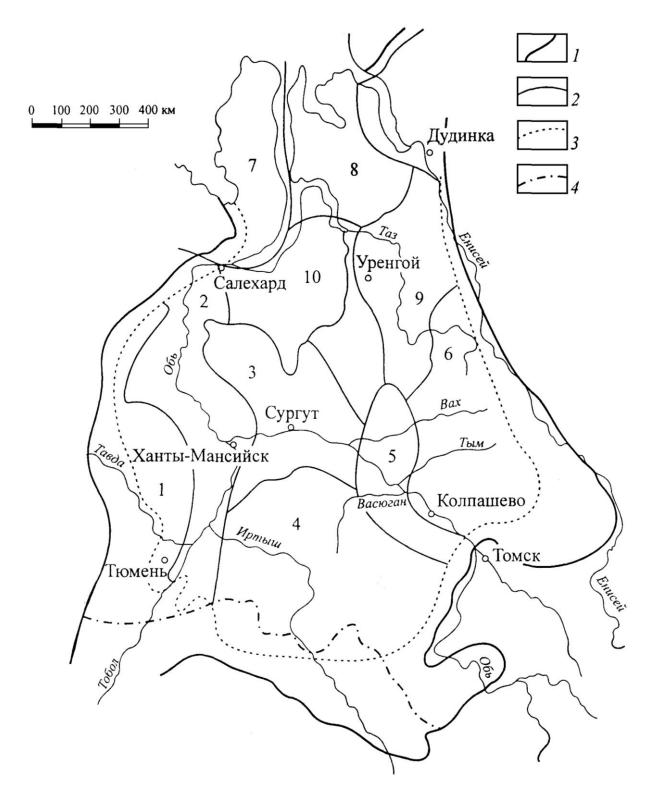


Рис. 10.1. Нефтегазоносные области Западно-Сибирского бассейна (Нефтегазоносные..., 1994):

1-4 — границы: 1 — бассейна, 2 — нефтегазоносных областей, 3 — перспективных для поисков нефти и газа земель в отложениях мезозоя, 4 — Государственная граница Российской Федерации;

нефтегазоносные области: I — Приуральская, 2 — Фроловская, 3 — Среднеобская, 4 — Каймысовская, 5 — Васюганская, 6 — Пайдугинская, 7 — Ямальская, 8 — Гыданская, 9 — Пур-Тазовская, 10 — Надым-Пурская

На месторождении выявлено 19 залежей в диапазоне от средней юры ($\rm HO_2$) до апта включительно ($\rm AB_1$). В готерив-барремской продуктивной толще, заключающей основные запасы нефти, выделяют до пяти песчаных пластов ($\rm AB_1-AB_5$). Они гидродинамически связаны между собой, имеют единый ВНК и образуют сводовую залежь массивного типа высотой около 100 м с газовой шапкой высотой до 40 м. В разрезе валанжина выделяют ряд сводовых залежей, из которых основными являются пласты $\rm BB_8$ и $\rm BB_{10}$. Среднеобская НГО преимущественно нефтеносная, к ней приурочено более 40 % общего потенциала Западно-Сибирской НГМП и наибольший объем текущей добычи.

В пределах Надым-Пурской НГО большое поле занимает Колтогорско-Уренгойский надрифтовый мегапрогиб, по оси которого протягивается Уренгойский мегавал, осложненный положительными структурами. В области открыто 40 месторождений, среди которых доминируют нефтегазоконденсатные и нефтегазовые, в том числе такие газовые гиганты, как Большой Уренгой с начальными запасами (вместе с Северо-Уренгойским) более 11 трлн м³, Ямбургско-Харвутинское (запасы более 6 трлн м³) и др. Месторождения многозалежные, в антиклинальных ловушках, часто осложненных литологическими экранами. 62 % ресурсов газа области сосредоточено в сеноманском комплексе, 42 % нефти – в неокомском, а от ресурсов Западной Сибири газ составляет 47 %, нефть – 16 %.

Уренгойское газоконденсатное месторождение приурочено к брахиантиклинальной складке в центральной части Уренгойского мегавала. Размеры его 200×25-30 км, амплитуда по кровле сеномана 210 м, вниз по разрезу увеличивается до 400 м. Складка, размеры которой по кровле сеноманских отложений 95×25 км, осложнена куполами. Скважинами вскрыты отложения кайнозойского и мезозойского возрастов мощностью до 5500 м. В сеноманских породах выявлена газовая залежь в массивном резервуаре высотой 230 м, перекрытая глинистой толщей турон-палеоцена мощностью 570-630 м. Продуктивные отложения представлены песчаниками с линзовидными прослоями алевролитов и глин. Последние не выдержаны по площади, поэтому пласты песчано-алевритовых коллекторов гидродинамически взаимосвязаны. ГВК на отметке – 1198 м. Фильтрационноемкостные свойства (ФЕС) коллекторов: открытая пористость 25-30 %, проницаемость до 1,75 мкм 2 . Дебиты газа составляли 1,4 – 7,9 млн м 3 /сут. Кроме сеноманской, в 17 пластах групп А и Б нижнего мела и пласта Ю2 средней юры выявлено более 25 залежей газового конденсата, в т. ч. семь с нефтяными оторочками. Залежи пластовые сводовые, в большинстве литологически экранированные. Высота их до 160 м, глубины залегания 1770 – 3090 м, содержание стабильного конденсата колеблется от 75 до 610 г/м^3 .

В Пур-Тазовской НГО открыто около 50 месторождений УВ, из которых преобладают нефтегазоконденсатные. Наиболее известны месторождения: Заполярное (запасы газа более 3,5 трлн м³, нефти и конденсата – десятки млн т), Ванкорское вместе с близкорасположенными месторождениями их суммарный потенциал по нефти составляет более 261 млн т. Месторождения преимущественно многопластовые, залежи сводовые, часто литологически экранированные. Этаж нефтегазоносности от нижней юры до турона. Доля ресурсов Пур-Тазовской НГО в общих потенциальных ресурсах УВ Западной Сибири оценивается в 16 %.

В Ямальской НГО открыто около 30 газовых, газоконденсатных (преобладают) нефтегазоконденсатных месторождений, часть из которых (Харасавейское и др.) являются прибрежно-акваториальными (Салманов и др., 2003). Месторождения многопластовые, с высоким продуктивным этажом (на некоторых от фундамента до кровли сеномана). Залежи связаны с антиклинальными ловушками и, как правило, имеют литологическое ограничение, реже встречены массивные и пластовые сводовые. Среди разведанных месторождений 13 уникальных и крупных: Бованенковское (4,9 трлн м³ газа), Харасавейское (1,2-1,5 трлн м³ газа). Здесь сосредоточено 21 % ресурсов газа Западной Сибири. Основные запасы газа приурочены к сеноманским и аптским отложениям на крупных мегавалах, нефти — к неокомским и юрским (Салманов и др., 2003). Максимальные ресурсы конденсата сконцентрированы в отложениях юры на глубине 4-6 км. В отложениях берриасасеномана структуры крупные пологие, в низах неокома и в юре — ловушки структурно-литологические и неантиклинальные (Салманов и др., 2003).

В целом для месторождений северных и арктических районов Западной Сибири отмечают следующие особенности: наличие крупных залежей в сеномане; газоконденсатных, газоконденсатно-нефтяных — в неокоме и юре; запасы газа сконцентрированы на сводах поднятий, активно воздымающихся в новейшее время. Основным источником газа при формировании газовых залежей в отложениях сеномана, по мнению ряда исследователей (Немченко и др., 1999; Виноградова, Пунакова, 2007), явилось ОВ гумусового типа, углефицированные остатки которого насыщают всю толщу пород покурской свиты.

Фроловская НГО содержит около 6 % ресурсов Западно-Сибирской НГМП, среди которых нефти доминируют и приурочены в основном к нижнесреднеюрскому и баженовскому (80 % совместно) НГК. В области открыто 35 месторождений нефти и газа, связанных с антиклинальными и комбинированными ловушками, в том числе уникальное по запасам нефти Красноленинское нефтегазоконденсатное месторождение. Месторождение сложное по строению и не является единым по разным НГК. Так, например, на Талинской площади базисными объектами являются образующие единую гидро-

намическую систему 13 рукавообразных литолого-стратиграфических и тектонически-экранированных залежей (пласты $\text{Ю}K_{10}$ и $\text{Ю}K_{11}$).

Нефтегазоносность Каймысовской НГО охватывает все, за исключением аптского, НГК. Основная часть ресурсов нефти сконцентрирована в нижне-среднеюрском и васюганском комплексах, газа — в васюганском. В области открыто около 50 месторождений, связанных с ловушками антиклинального и комбинированного типов. Особенностью НГО являются залежи нефти, выявленные как внутри палеозойских отложений в карбонатных породах (Малоичское месторождение), так и в эрозионнотектонических выступах (Арчинское месторождение) и корах выветривания палеозойских пород (Данилкин, 2005). На Каймысовскую НГО приходится около 2,3 % ресурсов УВ Западно-Сибирской НГМП.

В целом месторождения западных и южных районов Западной Сибири характеризуются преобладанием структурно-литологических и структурно-стратиграфических залежей в нижних горизонтах юрского разреза, образующих иногда единые резервуары с корами выветривания по карбонатным породам фундамента.

Всего в Западно-Сибирской НГМП открыто 790 месторождений, в том числе нефтяных — 551. По данным Ф. К. Салманова с соавторами (2007), структура начальных запасов и ресурсов для нефти выглядит следующим образом: прогнозная часть — 65 %, промышленные запасы — 18 %, накопленная добыча — 17 %, для газа соответственно 52, 36 и 12 % и конденсата — 74, 24 и 2 %. НСР Западной Сибири составляют по нефти 53,5 % общероссийских, по газу — 41 %, перспективные и прогнозные ресурсы — соответственно 48 и 50 %, уровень их разведанности — 46 % (Клещев, 2007). В Западной Сибири содержится 5,45 млрд т НСР конденсата, что составляет 50 % их в России (на суше); разведанных запасов ($A+B+C_1$) 1,17 млрд т, или 62 % общероссийских. Западно-Сибирская НГМП не имеет и не будет иметь аналогов на территории России.

Литература

Каламкаров Л. В. Нефтегазоносные провинции и области России и сопредельных стран. М.: Изд-во «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. 573 с.

Региональная геология нефтегазоносных территорий СССР/ Г. А. Габриэлянц, Г. Х. Дикенштейн, И. Н. Капустин, Л. Г. Кирюхин, А. А. Размышляев; Мин-во геол. СССР, ВНИГНИ/ под ред. Г. А. Габриэлянца. М.: Недра, 1991. 284 с.

Русский В. И. Нефтегазоносные провинции России и зарубежных стран: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 514 с.

11. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ НЕФТИ И ГАЗА

Добыча нефти и газа

История использования нефти насчитывает не одно тысячелетие. В древние времена особенно широко использовались битумы, добываемые там, где они выходили на дневную поверхность. Как и сегодня, битумы широко применялись в строительстве зданий для гидроизоляции и в дорожном строительстве. Добываемую в местах выхода на дневную поверхность нефть использовали в производстве лекарственных, косметических препаратов и даже в военном деле. Нефтью смазывали раны, использовали в качестве одного из компонентов древнего напалма — греческого огня. Первые упоминания о находках нефти связаны с Ближним Востоком и относятся к шестому тысячелетию до н. э. Хорошо известно об использовании нефти в Древнем Шумере (3 тысячи лет до н. э.), информацию о кустарной добыче нефти на территории Крыма связывают со вторым тысячелетием до н. э. Начало кустарной добычи нефти из колодцев на Апшеронском полуострове относят к VIII веку н. э.

Начало промышленной добычи в России (в границах после 1991 г.) следует отнести к середине XIX века, хотя по архивным данным известно о добыче и переработке нефти и ранее: в Архангельской области (XVII век), на Ухтинских промыслах (XVIII век). Потребление нефти в течение всего XIX столетия было небольшим: на середину 50-х годов этого столетия было добыто во всем мире порядка 5 тыс. т нефти, а на конец столетия годовая добыча составила около 20 млн т. В последующем, вплоть до сегодняшнего дня, объем добычи, несмотря ни на какие мировые катаклизмы, постоянно растет. Так, в 1900 г. объем мировой добычи жидких углеводородов составил 20,5 млн т, в 1930-м — 192 млн т, в 1970-м — 2365 млн т, в 2000-м — 3618 млн т, в 2009-м — уже 3755 млн т. Доля РСФСР (до 1991 г.)/России (с 1991 г.) в этой добыче составила: 1970 г. — 285 млн т (12,1 %), 2000 г. — 323 млн т (8,9 %), 2009 г. — 494 млн т (13,2 %).

Развитие газовой добычи началось значительно позднее, чем нефтяной. До 20-х годов XX столетия газ использовался в культовых целях (известны древние храмы огнепоклонников с постоянно горящими факелами подведенного к ним природного газа). Однако применение газа в промышленном производстве и в быту после 20-х годов прошлого столетия начало нарастать практически теми же темпами, что и потребление нефти. В СССР (в том числе и в России) историю развития отечественной газовой отрасли отсчитывают с 1946 г. (хотя добыча велась и в довоенные годы, а в

1935 г. был даже создан специализированный газовый промысел), когда был построен первый магистральный газопровод Саратов — Москва. В 1920 г. во всем мире было добыто 35 млрд m^3 , в 1940-м — 80 млрд m^3 , в 1970-м — 1108 млрд m^3 , в 1999-м — 2312,6 млрд m^3 . В РСФСР (до 1991 г.)/России (с 1991 г.) было добыто: в 1960 г. — 24,4 млрд m^3 , в 1970-м — 83,3 млрд m^3 , в 2000-м — 586 млрд m^3 , в 2009-м — 582 млрд m^3 .

Геологоразведочные работы на нефть и газ

Промышленная добыча нефти, а впоследствии и газа потребовала разработки не только эмпирических, но и теоретических основ поиска новых месторождений. В середине XIX века при определении места заложения скважин действовал принцип: «закладывать выработку рядом с выходом нефти на поверхность», так как поверхностные выходы нефти однозначно доказывали ее присутствие в недрах. Считалось, что основная залежь должна находиться непосредственно под выходами нефти на дневную поверхность. Кроме того, в начальный период нефтедобычи технические возможности нефтепромышленников позволяли вести поиск только близко расположенных к земной поверхности залежей (первые сотни метров), а успехи бурения обусловливались заложением скважин в пределах провинций, нефтеносность которых была уже доказана многочисленными выходами нефти на поверхность (в России – это: Апшерон, Кавказ, Северный Сахалин). Эти, в принципе, эмпирические правила впоследствии заложили основу разработки теоретических основ поиска и разведки нефтяных и газовых залежей.

В конце XIX века при определении мест заложения скважин учитывались нефтепроявления, известные ранее, и новую выработку задавали между продуктивными скважинами – принцип по «нефтяной линии».

Очень быстро легкодоступные нефтяные залежи были разобраны, и встал вопрос о поиске новых месторождений. В начале XX столетия поиск новых залежей уже осуществлялся на участках, где существовали антиклинальные структуры, расположенные близко к поверхности (появление антиклинальной теории местонахождения залежей нефти). К этому времени относится и организация геологической службы на нефтяных промыслах. В этот период первую скважину забуривали на своде складки или вблизи него. При несимметричной складке скважину задавали на пологом ее крыле.

В дальнейшем, по мере производства и успехов геологосъемочных работ, уменьшения близкорасположенных к поверхности антиклинальных структур (это уже середина XX века), началось изучение антиклинальных структур, расположенных на большой глубине, а также неантиклинальных

ловушек. Следует отметить, что понятие о неструктурных ловушках было известно в России уже в начале XX столетия, когда И. М. Губкин в 1909-1913 гг. изучил рукавообразную залежь в Майкопском района. Изучение глубокозалегающих структур с помощью глубоких скважин привело к развитию дистанционных методов поиска, в первую очередь геофизических и геохимических. С 50-х годов XX столетия ведущим методом поиска структур становится сейсморазведка. В это же время, при сохранении традиционного направления — поиска залежей нефти и газа в погребенных складках, возрастает роль залежей, связанных с неантиклинальными ловушками (в зонах выклинивания, стратиграфических, литологических, тектонических и т. д.). Возрастают и глубины поиска. Это уже 3-5 тыс. м в старых, ранее изученных районах. Возрастает роль и дистанционных методов поиска. Появляется понятие «аномалия типа залежь (АТЗ)».

Во второй половине XX столетия в условиях истощения фонда объектов, выявляемых геологической съемкой, сокращается ее роль, и на первое место в подготовке площадей к поиску залежей выходит сейсморазведка. Первоначально сейсмика (МОВ) давала сравнительно нечеткие данные по рельефу палеогоризонтов и на поисковые и разведочные скважины возлагались задачи, выполняемые ранее структурным бурением. Это потребовало увеличения числа оконтуривающих скважин и, соответственно, увеличения сроков разведки. В этих условиях для ускорения ввода залежей в разработку их разведку стали вести как бурением оконтуривающих скважин, так и скважин заведомо внутриконтурных, названных оценочными (в дальнейшем все их стали называть разведочными). В конце 50-х годов получила признание методика ускоренной разведки газовых объектов, основанная на расчетном способе определения газоводяного контакта (ГВК) и оценки запасов по падению давления. С 50-х годов стали широко применяться аэро- а с 70-х годов – космосъемки, появились новые модификации МОВ (ОГТ), каротажа, увеличились геологоразведочные работы в акваториях, внутри морей и на океаническом шельфе.

В развитии промышленной добычи нефти и газа в России и, наверное, даже больше — в развитии геологоразведочных работ на углеводороды, можно выделить три периода: период от начала промышленной добычи — до установления советской власти; советский период и постсоветский период. Для каждого из этих периодов характерны свои особенности развития отрасли, в зависимости от целей и задач экономики соответствующего периода.

Классификации запасов месторождений и ресурсов

Промышленная добыча углеводородов требовала, в первую очередь, наличия ресурсной базы и, соответственно, ее количественной оценки. Первая Классификация месторождений нефти в СССР была подготовлена И. М. Губкиным в 1928 г. В последующее время запасы углеводородов рассматривались не только по нефти, но и по газу (начиная с 1958 г. через каждые пять лет вплоть до 1993 г.). По мере развития геологоразведочных работ на углеводороды принимались новые классификации, однако вплоть до 2005 г. сам принцип ее разработки (по геологической достоверности поставленных на Государственный баланс запасов и ресурсов) не менялся. В настоящее время работы ведутся в соответствии с Временной классификацией нефти и газа, утвержденной МПР РФ приказом №126 в 2001 г. (рис. 11.1), которая практически мало чем отличается от классификации 1928 г.

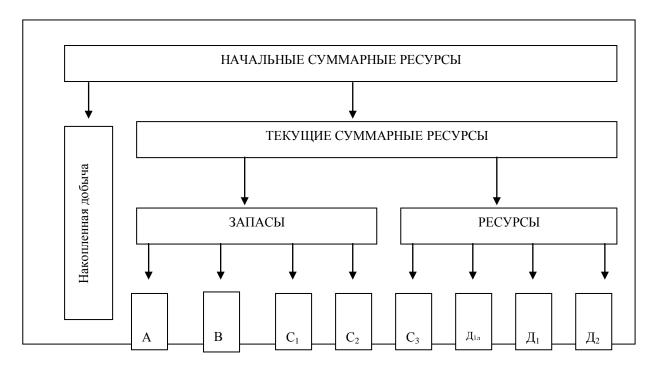


Рис. 11.1. Временная классификация запасов и ресурсов углеводородов (2001 г.)

Основные минусы всех предшествующих классификаций, а также и действующей в новых условиях недропользования заключались в том, что в ней не учитывался экономический аспект, так как в советский период разработчиком всех поставленных на баланс запасов было государство, и, таким образом, экономическая эффективность добычи на любой залежи рассматривалась по концевым затратам отрасли в целом. В постсоветское время недропользователи, в первую очередь вертикально интегрированные нефтяные компании (ВИНКи), заинтересованы не только в определении стоимости своих активов (в число которых входит и право на разработку

определенного участка недр), но и в широкой демонстрации величины этих активов в международном сообществе. Для этой цели, не дожидаясь отечественных разработок, с середины 90-х годов прошлого столетия ВИНКи обращаются к независимым экспертам для проведения международного аудита своих активов. Как и ВИНКи, мелкие недропользователи тоже заинтересованы в международной оценке. Поэтому вопрос о максимальном соответствии отечественной Классификации международной был далеко не праздным. Приняв Временную классификацию запасов и ресурсов нефти и газа в 2001 г. МПР РФ продолжило разработку новой, которая и была предложена отечественным недропользователям в 2005 г. (рис. 11.2, 11.3). Новая классификация позволяет провести дифференциацию запасов и ресурсов не только по степени геологической изученности, но и по экономической эффективности и степени промышленного освоения.





Рис.11.2. Классификация запасов нефти и горючих газов (2005 г.)

Рис.11.3. Классификация ресурсов нефти и горючих газов (2005 г.)

Стоимостная оценка запасов и ресурсов углеводородного сырья по новой Классификации должна отвечать принятым в мировой практике принципам анализа и оценки эффективности инвестиций, финансового анализа, а также учитывать реальные экономические условия в России. Ожидаемая стоимость запасов рассчитывается по формуле

$$S_{
m owuд} = D_{
m cp} \, P_{
m ycn} - K_{
m puck} \, (1-P_{
m ycn}),$$

где D_{cp} — среднее значение накопленного чистого дисконтированного дохода после налогообложения;

 $P_{\text{усп}}$ – вероятность успеха геологоразведочных работ;

 $K_{\text{риск}}$ – рисковый капитал, под которым в данном случае понимаются затраты на проведение геологоразведочных работ, оплату бонусов и пр.

В новой классификации разработаны критерии выделения нерентабельных, условно рентабельных и рентабельных запасов по величине ЧДД. Несколько изменен подход к выделению промышленных и предварительно оцененных категорий запасов, сокращено количество выделяемых ресурсов.

Новая классификация, в отличие от предшествующих, впервые выделяет группы запасов ($maбл.\ 11.1$) и ресурсов ($maбл.\ 11.2$) нефти и газа по экономической эффективности.

Таблица 11.1 **Характеристика запасов нефти и газа по экономической эффективности**

Группа запасов		Определение	Количественные критерии выделения групп запасов по экономической эффективности
Промышленно значимые	нормально рентабельные	Запасы, разработка которых экономически эффективна в условиях конкурентного рынка, при использовании техники и технологии добычи и переработки сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды	ВНР (IRR) > 10 %; ЧДД (NPV) > 0 при $r = 10$ % годовых, но ЧДД (NPV) < 0 при $r = 20$ % годовых
	условно рентабельные	Запасы, вовлечение которых в разработку на момент оценки, согласно технико-экономическим расчетам, не обеспечивает приемлемую эффективность в условиях конкурентного рынка из-за низких технико-экономических показателей, но освоение которых становится экономически возможным при изменении цен на нефть и газ или появлении новых оптимальных рынков сбыта и новых технологий	ВНР (IRR) \leq 10 %; ЧДД (NPV) \geq 0 при $r = 0$ % годовых, ЧДД (NPV) $<$ 0 r = 10 % годовых
Непромышлен- ные		Запасы, разработка которых на момент оценки экономически нецелесообразна или технически невозможна	ЧДД (NPV) < 0 при NPV <u><</u> 0 r = 0 % годовых

Таблица 11.2 **Характеристика ресурсов нефти и газа по экономической эффективности**

Группа ресурсов	Определение	Количественные критерии выделения групп ресурсов по экономической эффективности
Рентабельные	Ресурсы, имеющие положительную предварительную (или экспертную) ожидаемую стоимость запасов	OC3 (EMV) > 0
Неопределенно рен- табельные	Ресурсы, имеющие на дату оценки неопределенную ожидаемую стоимость запасов	OC3 (EMV) < 0

Ввод в действие новой Классификации отложен до 2012 г. В этот период предполагается, что она пройдет «обкатку» во всех действующих предприятиях недропользователей и в отраслевых институтах МПР РФ.

Стадийность геологоразведочных работ

Изучение залежей нефти и газа требовало единого подхода к данной проблеме, даже с учетом всего многообразия встречаемых объектов. Особенно это было необходимо при геологоразведочных работах в советский период. Не утрачен единый подход к геологоразведочным работам и сегодня, учитывая, что собственность на недра принадлежит государству. Кроме того, изучение огромных территорий с невысокой плотностью ресурсов требовало современных дистанционных методов изучения. Для этой цели была разработана схема стадийности геологоразведочных работ на нефть и газ. Схема эта постоянно совершенствовалась, в том числе и с учетом экономики постсоветского периода. Сегодня это утвержденное приказом министра МПР России № 126 от 07.02.01 г. Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ. В соответствии с этим положением весь геологоразведочный процесс разбит на этапы и стадии ведения работ, каждой из которых определена конкретная задача на конкретных объектах, определены используемые типовые комплексы работ для каждой из стадий и ожидаемые результаты по их реализации. Геологоразведочные работы в зависимости от стоящих перед ними задач, состояния изученности нефтегазоносности недр, подразделяют на региональный, поисково-оценочный и разведочный этапы с выделением в них стадий (прил. 14).

Региональный этап

Этап делится на стадии: прогноз нефтегазоносности и оценка зон нефтегазонакоплений.

Объектами изучения первой стадии являются осадочные бассейны и их части.

Основные задачи геологоразведочных работ первой стадии:

- ✓ выявление литолого-стратиграфических комплексов, структурных этажей, ярусов и структурно-фациальных зон, определение характера основных этапов геотектонического развития, тектоническое районирование;
- ✓ выделение нефтегазоперспективных комплексов (резервуаров) и зон возможного нефтегазонакопления, нефтегазогеологическое районирование;
- ✓ качественная и количественная оценка перспектив нефтегазоносности;
- ✓ выбор основных направлений и первоочередных объектов дальнейшего изучения.

Типовой комплекс работ включает в себя:

- ✓ дешифрирование материалов фото-, аэро- и космосъемок;
- ✓ геологическую, гидрогеологическую, структурно-геоморфологическую, геохимическую мелкомасштабные съемки и другие исследования;
- ✓ аэромагнитную, гравиметрическую съемки M 1:200 000, 1:50 000 и электроразведку;
- ✓ сейсморазведочные работы по системе опорных профильных пересечений;
- ✓ бурение опорных и параметрических скважин на опорных профилях в различных структурно-фациальных условиях;
- ✓ обобщение и анализ геолого-геофизической информации, результатов бурения скважин.

По результатам работ стадии проводится итоговая оценка прогнозных ресурсов изученной территории $Д_2$ и частично $Д_1$.

Объекты изучения ГРР второй стадии – нефтегазоперспективные зоны и зоны нефтегазонакоплений.

Основные задачи геологоразведочных работ второй стадии:

✓ выявление субрегиональных и зональных структурных соотношений между различными нефтегазоперспективными и литологостратиграфическими комплексами, основных закономерностей распространения свойств пород коллекторов и флюидоупоров и изменения их свойств;

- ✓ уточнение нефтегазогеологического районирования;
- ✓ количественная оценка перспектив нефтегазоносности;
- ✓ выбор районов и установление очередности проведения на них поисковых работ.

Типовой комплекс работ тот же, что и на стадии прогноза, только с укрупнением масштаба исследования до 1:100 000, 1:25 000.

По результатам работ стадии проводится итоговая оценка прогнозных ресурсов изученной территории \mathcal{J}_1 и частично \mathcal{J}_2 .

Поисково-оценочный этап

Этап делят на три стадии: выявление объектов поискового бурения, подготовка объектов к поисковому бурению и поиск и оценка месторождений (залежей).

Объектами изучения первой стадии являются районы с установленной или возможной нефтегазоносностью.

Основные задачи геологоразведочных работ первой стадии:

- ✓ выявление условий залегания и других геолого-геофизических свойств нефтегазоносных и нефтегазоперспективных комплексов;
- ✓ выявление перспективных ловушек;
- ✓ количественная оценка прогнозных локализованных ресурсов;
- ✓ выбор объектов для детализационных работ.

На стадии выявления объектов поискового бурения используют следующий типовой комплекс геологоразведочных работ:

- ✓ дешифрирование материалов аэрофото-, космосъемок локального и детального уровней генерализации;
- ✓ структурно-геологическую (структурно-геоморфологическую) съемку;
- ✓ комплекс геофизических исследований, состоящий из гравиразведки, магниторазведки, электроразведки;
- ✓ сейсморазведку по системе взаимоувязанных профилей;
- ✓ бурение (в случае необходимости) структурных скважин;
- ✓ специальные работы и исследования по прогнозу геологического разреза и прямым поискам.

По результатам работ стадии проводится итоговая оценка прогнозных локализованных ресурсов изученной территории $Д_{1\pi}$.

Основные задачи геологоразведочных работ второй стадии:

- ✓ детализация выявленных перспективных ловушек, позволяющая прогнозировать пространственное положение залежей;
- ✓ количественная оценка перспективных ресурсов на объектах, подготовленных к поисковому бурению;

✓ выбор объектов и определение очередности их ввода в поисковое бурение.

При подготовке объектов к поисковому бурению выполняется следующий комплекс работ:

- ✓ детальная сейсморазведка масштабов 1:50000, 1:25000;
- ✓ бурение структурных скважин до первой жесткой границы (в исключительных случаях бурение глубоких параметрических скважин);
- ✓ детальная электроразведка, высокоточная гравиразведка в масштабах 1:50000, 1:25000;
- ✓ специализированные работы и исследования по прогнозированию геологического разреза объекта и прямым поискам с целью подготовки АТЗ;
- ✓ структурное бурение.

По результатам работ стадии проводится итоговая оценка перспективных ресурсов C_3 .

Геологоразведочные работы третьей стадии – стадии поиска и оценки месторождений (залежей)

В процессе поиска и оценки месторождений (залежей) решаются две задачи: установление факта наличия или отсутствия промышленных запасов нефти и газа и оценка выявленного месторождения (залежи). Поиски залежей УВ производятся бурением поисковых скважин на подготовленных структурах — локальных геологических объектах. Выявленный скважиной-первооткрывательницей промышленный объект оценивается путем установления контура пересечения ВНК (ГНК) с кровлей пластаколлектора, что дает возможность на этой стадии дать приближенную количественную оценку встреченной нефтегазоносности. Основной вопрос, решаемый на данной стадии, — вопрос о продуктивности подготовленных на предыдущей стадии и вводимых в бурение новых структур. На поисково-оценочной стадии решается также ряд задач, основными из которых являются:

- ✓ выявление в разрезе нефтегазоносных и перспективных горизонтов коллекторов и покрышек и определение их геолого-геофизических свойств (параметров);
- ✓ выделение, опробование, испытание нефтегазоперспективных пластов и горизонтов, получение промышленных притоков нефти и газа и установление свойств флюидов и фильтрационно-емкостных характеристик;
- ✓ открытие месторождения и постановка запасов на Государственный баланс;
- ✓ выбор объектов для проведения оценочных работ;
- ✓ установление основных характеристик месторождения (залежи);

- ✓ оценка запасов месторождения (залежи);
- ✓ выбор объектов разведки.

По результатам работ стадии проводится итоговая оценка предварительно оцененных запасов C_2 и частично разведанных запасов C_1 .

Разведочный этап

Этап состоит из одной стадии – стадии разведки и пробной эксплуатации.

Объектами изучения этой стадии являются промышленные месторождения (залежи).

Основные задачи геологоразведочных работ стадии:

- ✓ уточнение геологического строения и запасов залежей;
- ✓ пробная эксплуатация для получения данных и параметров для составления технологической схемы разработки месторождений;
- ✓ перевод запасов категории C_2 в категорию C_1 .

Типовой комплекс работ включает в себя:

- ✓ бурение разведочных скважин (в ряде случаев опережающих эксплуатационных скважин);
- ✓ переинтерпретацию геолого-геофизических материалов с учетом данных по пробуренным скважинам;
- ✓ проведение детализационных геолого-геофизических работ на площади и в скважинах;
- ✓ проведение пробной эксплуатации разведочных скважин, пробной эксплуатации и пробной разработки части залежи.

По результатам работ стадии проводится итоговая оценка разведанных запасов C_1 и частично предварительно оцененных запасов C_2 .

Финансирование геологоразведочных работ

Естественно, что в первый (досоветский) период финансирование геологразведочных работ там, где оно проводилось, полностью ложилось на предпринимателя. В советский период финансирование геологоразведки, как, впрочем, и любых других работ, осуществлялось государством. Несколько иное положение с финансированием геологоразведочных работ, отличное как от существующего в досоветский и тем более в советский период, существует в настоящее время. Причем условия финансирования постоянно меняются (за последние 20 лет 3 раза).

На первом этапе (до 2002 г.) финансирование геологоразведочных работ (ГРР) проводилось: а) за счет госбюджета, б) за счет бюджетов субъектов Федерации и в) за счет привлекаемых недропользователем собствен-

ных средств. На практике это выглядело следующим образом. Приватизировавшими (лицензировавшими) участки недр недропользователями проводились отчисления от стоимости добытого сырья (первого продукта добычи) в количестве 10 %, из которых: 3 % уходило в госбюджет и впоследствии распределялось на финансирование региональных работ; 3 % направлялось в субъект Федерации и оттуда – на финансирование программы поисково-оценочного этапа; 4 % направлялось через субъект Федерации обратно недропользователю на финансирование им программы разведочного этапа на своем лицензионном участке. Не обходилось, конечно, и без злоупотреблений. Деньги эти были немалые, а спрос за их расходом начал ужесточаться только с 1999 г. Эта схема финансирования геологоразведочных работ в России постоянно нарушалась. Отсутствие должного контроля за расходом средств ставок ВМСБ приводило к так называемым «нецелевым» расходам, как со стороны федеральной исполнительной власти, так и со стороны субъектов Федерации и недропользователей, которые тратили оставляемую им часть ставки ВМСБ, в лучшем случае на обустройство объектов добычи и модернизацию используемого оборудования. Первоначально в середине 90-х годов контроль со стороны как федеральных, так и региональных структур был явно неэффективен. Даже выявленные «нецелевые» расходы никем и никак не компенсировались.

Несмотря на широкое применение ВИНКами трансфертных цен и уход от выплат ставок ВСМБ по факту, эта система достаточно хорошо начала действовать уже с конца 90-х годов прошлого столетия. Постоянные комиссии, в том числе и комиссии полномочных представителей в федеральных округах, не давали возможность нецелевого расхода этих средств. Положительным моментом здесь было то, что, при должном контроле и, главное, неотвратимости наказания за «нецелевые» расходы, в конце 90-х годов геологоразведочные работы стали стабильно и, в какой-то мере, достаточно финансироваться, что повлекло наряду с ростом выполнения основных физобъемов работ и рост результатов. Можно было ожидать стабилизацию соответствия прироста запасов промышленных категорий добыче и даже опережения прироста запасов над добычей.

Однако Государственная Дума, пролоббированная администрациями ВИНКов (в первую очередь ЮКОСа), добилась отмены выплат компаниями ставок ВМСБ. Это изменение государственной налоговой политики, в связи с вводом в действие части второй Налогового кодекса РФ (Федеральный закон от 08.08.2001 № 126-ФЗ) и изменений и дополнений к нему (Федеральный закон от 29.05.2002 № 57-ФЗ), сразу же вывело выполнение недропользователями геологоразведочных работ из-под контроля государственных органов.

С января 2002 г., в связи с вводом в действие второй части Налогового кодекса, ставки ВМСБ были отменены. Консолидированный налог на добычу (НДПИ), заменивший ранее действующие налоги у недропользователей, учел как оставляемую у недропользователя часть бывшей ставки ВМСБ, так и передаваемую в госбюджет. Однако контроль за финансированием геологоразведочных работ недропользователями за счет этой бывшей составляющей ставки ВМСБ со стороны государства был утерян. Распределение НДПИ между субъектами Федерации и федеральным бюджетом от добычи углеводородов существенно изменилось. Теперь только 20 % этого налога оставлялось в субъекте Федерации, что уже не позволяло финансировать поисково-оценочные работы на НФН в прежнем объеме. В довершение ко всему, с 2001 г. к руководству в МПР РФ пришла команда непрофессионалов, пытающаяся практически целиком переложить вопросы финансирования геологоразведочных работ на недропользователя и частично на субъекты Федерации. Принятые этой командой ориентиры не позволяли надеяться на изменение к лучшему состояния минерально-сырьевой база России – основы ее экономики.

В результате только в Уральском федеральном округе (а это Западно-Сибирская НГП, которая дает стране 67,5 % добываемой нефти и 92,5 % добываемого газа), резко, на 50-70 %, упали объемы выполняемых основных геологоразведочных работ (бурение глубоких скважин, сейсморазведочные работы) и, как следствие, началось отставание прироста запасов по сравнению с добычей. В этот период основное финансирование геологоразведочных работ проводилось за счет бюджетов субъектов Федерации и недропользователей. Из бюджета субъекта Федерации финансировались поисково-оценочные работы на нераспределенном фонде недр в меньшем, чем ранее объеме, а недропользователи, несмотря на то, что практически те же средства, что и ранее оставались у них, также финансировали поисково-оценочные и разведочные работы на распределенном фонде недр значительно меньше, чем в предыдущие годы.

В довершение к вышеизложенному, субъектам Федерации с 2005 г. запретили финансировать новые объекты геологоразведочных работ на своей территории. Таким образом, государство финансирует из госбюджета только региональные работы, а работы поисково-оценочного и разведочного этапов предлагается осуществлять за счет так называемых инвесторов.

Кроме того, динамика выделения и госбюджетных и внебюджетных средств за последние 6 лет на региональные работы не является стабильной. Так, в 2009 г. (впервые с 2004 г.) произошло снижение объемов и бюджетного финансирования (с 22 млрд руб до 18,9 млрд руб) и внебюд-

жетного (за счет недропользователей (с 197 млрд руб до 149 млрд руб). Отсюда и отставание показателей воспроизводства запасов нефти и газа от их добычи. Так, за период с 1991по 2009 гг. было добыто нефти с конденсатом в объеме 6194 млн т, а прирост запасов составил всего 4998 млн т (0,81); было добыто газа за этот же период 9768 млрд $\rm M^3$, прирост запасов составил 7203 млрд $\rm M^3$ (0,74).

Подводя итог вышеизложенному, следует сказать, что при существующем отношении к геологоразведочным работам на государственном уровне страна уже начала «проедать» запасы минерального сырья, поставленные на Госбаланс еще в советское время.

Литература

Бакиров Э. А., Ларин В. И., Рожков Э. Л. и др. Основы методики геологоразведочных работ на нефть и газ: учебное пособие для вузов / под ред. Э. А. Бакирова, В. И. Ларина. М.: Недра, 1991. 159 с.

Ворожев Е. С. Геологоразведочные работы на нефть и газ: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 241 с.

Габриэлянц Г. А. Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 2000. 587 с.

12. ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ И ОЦЕНКА РЕСУРСОВ НЕФТИ И ГАЗА

Наиболее часто при подсчете запасов на всех стадиях геологоразведочного и эксплуатационного процессов используется объемный метод подсчета. Сущность метода заключается в определении массы нефти или объема свободного газа, приведенных к стандартным (поверхностным) условиям, в насыщенных ими объемах пустотного пространства породколлекторов для конкретной залежи. Для месторождения, состоящего из двух и более залежей, подсчет запасов проводится по каждой залежи раздельно. Подсчет запасов проводится в следующей последовательности:

- определяется объем пород-коллекторов, содержащих углеводороды V;
- определяются основные параметры подсчета (средняя пористость пород-коллекторов K_{Π} , средняя нефтенасыщенность K_{Π} или, если имеем дело с газовым объектом, средняя газонасыщенность K_{Γ} пород-коллекторов;
- определяются пересчетные коэффициенты (для нефтяного объекта учитывающий усадку нефти в поверхностных условиях θ и плотность нефти в поверхностных условиях $\sigma_{\rm H}$, для газового объекта барический K_p и термический K_t коэффициенты).

Общая формула подсчета геологических запасов нефти выглядит следующим образом:

$$Q = V \cdot K_{\Pi} \cdot K_{H} \cdot \theta \cdot \sigma_{H}$$
.

Общая формула подсчета геологических запасов газа выглядит следующим образом:

$$Q = V \cdot K_{\Pi} \cdot K_{\Gamma} \cdot K_{p} \cdot K_{t}.$$

Выделение пород-коллекторов

Коллектор – горная порода, пласт или массив пород, которые благодаря своим коллекторским свойствам обладают способностью к аккумуляции и фильтрации воды, нефти и газа. Оценка коллекторских свойств производится как качественным, так и количественным способами.

Прямым методом качественного выявления пласта-коллектора является получение из него при вскрытии притока флюида, выявление на диаграммах геофизических исследований скважин (ГИС) значений, свидетельствующих о сужении ствола скважины, установление наличия зоны проникновения (потери) промывочной жидкости. К косвенным методам

следует отнести выявление на диаграммах ГИС характерных значений кривых ПС, КС, ГК.

Выделение коллекторов по количественному критерию проводится статистическим и корреляционным способами. Статистический метод реализуется:

- путем интегральной обработки распределений (кумулят) пористости по ГИС или какого-то другого параметра ($\alpha_{\rm пс}$, $\Delta I_{\rm пγ}$, $\Delta I_{\rm γ}$ и др.) для двух подвыборок коллекторов и неколлекторов. После проведения несложных построений получаем распределение пористости по двум подвыборкам для коллекторов и неколлекторов. По средней точке пересечений этих кумулят находим нижний предел по пористости. Этот метод применяется редко ввиду больших погрешностей при встрече низкопроницаемых коллекторов;
- путем оценки граничных значений коэффициента пористости с использованием результатов испытания пласта приборами на каротажном кабеле сопоставление граничного значения $\alpha_{\rm nc}$ и коэффициента удельной продуктивности пород $\eta_{\rm прод}$. Принцип, аналогичный предыдущему.

Корреляционный способ основан на результатах, полученных при петрофизических анализах образцов керна и соответствующих графических (математических) корреляционных построений:

1. Сопоставление общей пористости K_{Π} и эффективной $K_{\Pi.эф}$ (для газовых залежей) или динамической $K_{\Pi.дин}$ (для нефтяных залежей) пористости:

$$K_{\text{п.эф.}} = K_{\text{п}} (1 - K_{\text{во}}), K_{\text{п.дин}} = K_{\text{п}} (1 - K_{\text{во}} - K_{\text{но}}),$$

где $K_{во}$ — остаточная водонасыщенность; $K_{но}$ — остаточная нефтенасыщенность. Это позволяет установить граничную пористость $K_{п.гр.}$ (нижний предел по пористости) путем корреляционного построения.

2. Сопоставление пористости $K_{\rm п}$ и эффективной проницаемости $K_{\rm пр.эф}$ в процессе моделирования в лабораторных условиях фильтрации нефти или газа в присутствии воды остаточной позволяет также получить $K_{\rm п.гр.}$ нижний предел по пористости.

Есть еще несколько способов определения нижних пределов: по относительной глинистости, по соотношениям водо- и нефтенасыщенности, минерализации воды в поровом пространстве, данным ГИС, а также по заданному значению нижнего предела по проницаемости.

Определение основных параметров подсчета запасов нефтяных залежей

Объем залежи

Величина объема залежи V определяется путем умножения горизонтальной проекции ее площади F на среднее значение вертикальной эффективной нефте-, газонасыщенной толщины пласта $h_{3\phi}$:

$$V=F\cdot h_{9\text{db}}$$
.

Обычно при проведении расчетов в общей формуле вместо V используют произведение $F \cdot h_{\ni \Phi}$:

$$Q = F \cdot h_{\ni \phi} \cdot K_{\Pi} \cdot K_{H} \cdot \theta \cdot \sigma_{H}.$$

Площадь нефтеносности F продуктивного пласта контролируется внешним контуром нефтеносности и границами распространения проницаемых прослоев. Контуры распространения запасов отдельных категорий переносят с подсчетных планов на карты эффективных мощностей нефтенасыщенных частей пласта, на основе которых рассчитывают F и $h_{9\Phi}$.

Горизонтальная проекция площади залежи определяется графическим методом (вручную или с помощью ПК) на подсчетном плане. Подсчетные планы составляют на основе структурной карты по кровле проницаемой части продуктивного пласта в масштабе 1:5000 — 1:50000 (иногда 1:100000). Сказанное выше справедливо и для продуктивного горизонта, состоящего из ряда проницаемых слоев. Однако, если в горизонте обнаружено несколько залежей с разными водонефтяными контактами, то подсчетные планы составляются по кровле каждого из пластов, содержащих отдельные залежи. Контуры категорий запасов в этом случае для каждой залежи определяются отдельно.

На подсчетный план наносится вся известная на момент подсчета информация по данной и соседней площадям. Это все пробуренные на дату подсчета скважины, вынесенные на точках пересечения ими кровли рассматриваемого пласта, обозначенные в соответствии с типовой легендой (параметрические, поисковые, разведочные, эксплуатационные, ликвидированные, законсервированные и т. п., информация по каждой скважине – абсолютная отметка пересечения кровли пласта, состав встреченного флюида, начальный и текущий дебит и т. п. В зависимости от стадии геологоразведочных работ или эксплуатации, нагрузка на подсчетный план варьирует в широких пределах. Поэтому при пересчете запасов на графике

обычно выделяют площадь горизонтальной проекции залежи, запасы на которой приняты ГКЗ по предыдущему подсчету, а также новые пройденные скважины, послужившие основанием для пересчета.

Для залежей с большой площадью разрешается представлять подсчетный план по той части залежи, где произошли изменения запасов. При этом на подсчетном плане должна быть представлена схема строения всей залежи в мелком масштабе (1:100000 – 1:200000).

В залежах, разбуренных сеткой эксплуатационных скважин и приуроченных к пластам с сильной литолого-фациальной изменчивостью, рекомендуется выделять зоны высокопродуктивных и низкопродуктивных пород. Подсчет запасов по этим зонам следует вести раздельно, так как они отличаются коэффициентами нефтеотдачи.

Площадь горизонтальной проекции залежи (F) обычно дается в тысячах квадратных метров.

Средняя эффективная толщина нефтенасыщенной части пласта $h_{\rm эф}$ определяется по данным комплекса геофизических исследований скважин (ГИС) с привлечением данных анализа керна и результатов опробования скважин. По этим данным определяют также положение ВНК, кондиционные значения пористости и проницаемости.

Обычно положение ВНК определяется на диаграммах каротажа скважин и уточняется опробованием. При отбивке ВНК следует учитывать наличие переходной зоны. При сильной расчлененности продуктивного пласта нередко отметку ВНК установить не удается. Тогда его высотное положение условно принимается на уровне отметки нижней дыры перфорации скважины, давшей при опробовании нефть.

Толщина эффективных нефтенасыщенных прослоев определяется по данным бокового каротажного зондирования, кавернометрии, микрозондирования, радиоактивного каротажа, зарегистрированным в масштабе 1:200. При сильной расчлененности продуктивного пласта запись перечисленных каротажных диаграмм следует вести в более крупном масштабе 1:100, 1:50.

С целью установления кондиционных значений пористости и проницаемости следует проводить поинтервальное опробование наиболее характерных прослоев. При расчете эффективной толщины пласта (или прослоя) следует включать только те прослои (или пропластки), значения открытой пористости которых оказались выше кондиционных, при условии определения их по геофизическим данным. Если открытая пористость определяется по керну, то в расчет принимаются все прослои, проницаемость которых выше кондиционной. Выделенные таким образом прослои должны быть тщательно увязаны с керном, вынесенным из этих же интервалов.

При наличии в керне непроницаемых интервалов их мощность должна быть исключена из мощности проницаемого прослоя.

Средняя эффективная толщина нефтенасыщенной части пласта определяется внутри контура запасов каждой категории.

Величина эффективной нефте-, газонасыщенной толщины продуктивного пласта дается в метрах.

Коэффициент пористости

Коэффициент пористости K_{Π} — один из важнейших параметров подсчета, определяющий не только объем свободного пространства в пластах-коллекторах, но и границу (нижний предел) между породами-коллекторами и породами-неколлекторами. Различают пористость общую (полную), открытую (образованную сообщающимися между собой пустотами) и закрытую (образованную не сообщающимися между собой пустотами).

По своей форме пустоты являются: межзерновыми порами, кавернами, трещинами.

Межзерновые поры характерны для терригенных и части карбонатных коллекторов. Каверны встречаются в основном в карбонатных коллекторах, а трещинные пустоты присущи практически всем разновидностям пород-коллекторов, в том числе и карбонатным, и терригенным.

Различают эффективную и неэффективную пористость. Эффективные поры способны наряду с остаточной водой содержать и углеводороды, неэффективные поры содержат только воду. Коэффициент эффективной пористости $K_{\text{п.эф.}}$ рассчитывается так:

$$K_{\text{п.эф}} = K_{\text{п.}}(1 - K_{\text{во}}),$$

где $K_{\text{во}}$ – коэффициент остаточной водонасыщенности.

Основным методом определения пористости являются разнообразные диаграммы ГИС. Обоснованием использования этих диаграмм служат результаты лабораторных определений пористости по керну, привязанные к этим диаграммам.

Как и определение средних значений эффективной толщины по скважинным пересечениям, определение среднего значения коэффициента пористости проводится по тем же принципам.

Размерность коэффициента пористости – доли единицы.

Коэффициент нефтенасыщенности (газонасыщенности)

Характер насыщения встреченных коллекторов различен. Это может быть однофазный флюид (нефть, вода или газ), двухфазный (нефть и газ, нефть и вода, газ и вода) и трехфазный, когда все три фазы присутствуют в изучаемом коллекторе.

Вопрос о наличии вскрытых скважиной продуктивных пластах и характере их насыщения решается, в первую очередь, на качественном уровне. Если скважина не вскрыла пласт-коллектор или если вскрытый пласт замещен (сухой), водонасыщен, то нет смысла спускать в скважину эксплуатационную колонну и проводить ее крепление.

Качественная оценка нефте-, газонасыщенности коллектора решается в процессе бурения по данным ГТИ, керну, шламу, опробованию в открытом стволе.

Геолого-технологические исследования (ГТИ), сопровождающие бурение, в первую очередь, поисковых скважин в комплексе с газовым каротажом, позволяют по анализу газа из промывочной жидкости (ПЖ) определить:

- наличие или отсутствие в изучаемой части разреза нефтегазоносных пород;
- ожидаемый тип встреченного углеводородного флюида нефть,
 газ.

Отбор шлама и его изучение позволяют также дать приближенную оценку нефте-, газоносности встреченного при бурении коллектора. Наиболее информативным в части оценки фазового состава насыщения встреченных коллекторов является вынесенный керн из скважин.

При опробовании в открытом стволе с помощью испытателей пластов на трубах (ИПТ) или опробователей (испытателей) на каротажном кабеле (ОИПК) в продуктивном интервале, даже при интенсивном проникновении промывочной жидкости в пласт, создаваемая большая депрессия на пласт позволит в любом случае получить информацию о наличии здесь углеводородов. Получение вместе с фильтратом и нефтью значительного (более 10 %) количества пластовой воды свидетельствует также и о том, что вода также присутствует в данном объекте (скважиной вскрыт водонефтяной контакт (ВНК) или переходная зона). Следует отметить, что после первичного вскрытия нефтеносного пласта-коллектора максимальный срок на проведение опробования в открытом стволе — 1-2 суток, для газоносного объекта срок проведения опробования может быть увеличен. Необходимо отметить, что при опробовании в открытом стволе можно получить наиболее подвижные флюиды (типа газ, вода). Наличие в фильтрате пленок нефти может свидетельствовать о близости водонефтяного контакта.

Испытания в колонне в настоящее время являются самыми массовыми источниками прямой информации о нефтегазонасыщенности. Здесь, так же как и при опробовании в открытом стволе, есть свои особенности, влияющие на достоверность результатов.

Определение нефтегазонасыщенности проводят также по данным диаграмм ГИС, где используют удельное электрическое сопротивление ρ_{π} пласта. Так как нефть и газ в равной степени не электропроводны, то по данному параметру на нефтенасыщенный и газонасыщенный коллектор не подразделяются. Удельное электросопротивление определяется по данным комплекса БКЗ-БК-ИК. В общем случае поровые нефтегазонасыщенные коллекторы выявляют сопоставлением измеренных в скважине сопротивлений пластов (ρ_{π}) с граничным значением этих сопротивлений ($\rho_{\pi,rp}$). Пласт считается продуктивным, если $\rho_{\pi} > \rho_{\pi,rp}$, при $\rho_{\pi} \sim \rho_{\pi,rp}$ пласт водонасыщен.

Количественное определение нефтегазонасыщенности определяют по ГИС и по данным исследования керна. В данном случае, как по керну, так и по ГИС, определяют коэффициент водонасыщенности $K_{\rm B}$, а собственно коэффициент нефтенасыщенности $K_{\rm H}$ определяют как разницу между единицей и коэффициентом водонасыщенности пород-коллекторов.

Учитывая, что объемы вынесенного керна, пригодного для определения $K_{\rm B}$, как правило, незначительны, их данные применяют в качестве петрофизической основы обоснования достоверности данных, полученных по диаграммам ГИС. Коэффициент водонасыщенности в пластах с однофазным флюидом соответствует коэффициенту водонасыщенности остаточной $K_{\rm BO}$.

При бурении скважин с промывочной жидкостью на безводной основе прямые определения $K_{\rm BO}$ производят на керне, герметизированном непосредственно на буровой. Процесс определения $K_{\rm BO}$ происходит путем экстрагирования воды из образцов этого керна в приборах Дина, Старка или Закса.

Использовать можно и керн, полученный при бурении с промывочной жидкостью на водной основе. В данном случае в образце по результатам измерения может быть определена остаточная нефтенасыщенность $K_{\rm HO}$ и, при известной начальной нефтенасыщенности $K_{\rm H}$, коэффициент вытеснения.

Прямые определения остаточной нефтенасыщенности необходимы для определения газовых (газоконденсатных) залежей, так как в общем случае газонасыщенность определяется как $K_{\rm r}=1-K_{\rm B}-K_{\rm Ho}$. Для газоконденсатных месторождений с содержанием конденсата более чем $100~{\rm r/m}^3$ при определении $K_{\rm Ho}$ должна быть учтена доля конденсата, выпавшего в пустотном пространстве при подъеме керна на дневную поверхность.

Косвенные определения $K_{\text{во}}$ на керне проводятся методами центрифугирования и капилляриметрии (полупроницаемой мембраны).

При определении нефтегазонасыщенности по данным ГИС, основным методом является электрический (ЭК) или электромагнитный (ЭМК) каротаж. Определяется электрическое сопротивление пласта $\rho_{\rm II}$, пластовой воды $\rho_{\rm B}$ и петрофизические зависимости $P_{\rm II}$ - $K_{\rm II}$ и $P_{\rm H}$ - $K_{\rm B}$.

В абсолютном большинстве случаев водонасыщенность определяется по ГИС, а данные, полученные при определении ее по керну, используют в качестве петрофизической основы обоснования достоверности определений.

Коэффициенты нефтенасыщенности и нефтенасыщенные объемы порового пространства по нефтяным, водонефтяным и переходным зонам рассчитывают раздельно

Коэффициенты нефтенасыщенности, газонасыщенности, водонасыщенности, остаточной водонасыщенности, остаточной нефтенасыщенности имеют размерность — доли единицы.

Приведение объема пластовой нефти к стандартным условиям

Природная нефть, конденсат, свободный газ различаются между собой по физико-химическим характеристикам, таким как: химический элементный состав, фракционный состав, групповой углеводородный состав, плотность, вязкость, газосодержание, давление насыщения, коэффициенты объемный, сжимаемости, температурного расширения. Различие в этих параметрах можно наблюдать не только в разных месторождениях, но и в разных залежах одного месторождения и даже в пределах одной залежи.

В первую очередь это касается нефти, так как в пластовых условиях под воздействием пластового давления и пластовой температуры ее объем не соответствует объему в поверхностных (стандартных) условиях.

B качестве стандартных условий взято: давление 0,1 МПа, температура — 20 °C.

Различие химических характеристик нефтей обусловило различие и физических параметров, в том числе и определяющих основные параметры подсчета запасов, такие как плотность и объемный коэффициент.

В пластовых условиях нефть насыщена растворенным в ней газом, который выделяется из нефти при поступлении ее на дневную поверхность. Газовый фактор (содержание выделяемого из одного куб. метра нефти газа) является одним из определяемых при изучении нефти параметров. Для приведения объема пластовой нефти к объему нефти, дегазированной при стандартных условиях, используется среднее значение пересчетного коэффициента θ , учитывающего усадку нефти и равного $1/b_{\rm H}$, где

 $b_{\rm H}$ — объемный коэффициент пластовой нефти. Объемный коэффициент пластовой нефти определяется как отношение объема нефти в пластовых условиях к объему нефти в поверхностных условиях после дегазации.

Пересчетный коэффициент (θ) – величина безразмерная.

Плотность дегазированной нефти

Плотность дегазированной нефти о определяется лабораторным способом. Ввод в формулу подсчета данного параметра позволяет получить конечный результат в тех единицах (т), которые предусмотрены существующими стандартами.

Плотность дегазируемой нефти (σ) имеет размерность m/m^3 .

Определение основных параметров подсчета запасов газовых залежей

В соответствии с формулой подсчета запасов свободного газа, здесь вместо параметра θ (коэффициента, учитывающего состояние нефти в стандартных условиях) необходимо дать приведение объема свободного газа к стандартным условиям.

Объем свободного газа в пластовых условиях зависит от пластового давления и пластовой температуры, в соответствии с законом Клайперона-Менделеева. Для приведения объема свободного газа, содержащегося в залежи (ее части), к стандартным условиям ($T=20\,^{\circ}\mathrm{C}, P=0,1\,\mathrm{M}\Pi a$) используется произведение барического K_p и термического K_t коэффициентов (выражения каждого из них содержится в соответствующих квадратных скобках):

$$K_{\rm p} \, K_{\rm t} = [(P_0 \alpha_0 - P_{\rm oct} \, \alpha_{\rm oct}) \, / \, P_{\rm ct}] [(T_0 + t_{\rm ct}) \, / \, (T_0 + t_{\rm пл})],$$

где P_0 — среднее начальное пластовое давление в залежи (ее части), МПа; α_0 — поправка, обратно пропорциональная коэффициенту сжимаемости реальных газов Z_0 при давлении P_0 : $\alpha_0 = 1 / Z_0$; $P_{\text{ост}}$ — среднее остаточное давление, устанавливающееся в залежи, когда давление на устье добывающих скважин будет равно стандартному, МПа; $\alpha_{\text{ост}}$ — соответствующая остаточному давлению поправка на сжимаемость реального газа, равная $1/Z_{\text{ост}}$; $P_{\text{ст}}$ — давление при стандартных условиях, равное 0,1 МПа; T_0 = 273 K, $t_{\text{ст}}$ = 20 °C; $t_{\text{пл}}$ — средняя температура в залежи в пластовых условиях, °C.

Среднее начальное пластовое давление газовых залежей P_0 получают по данным о статических забойных давлениях в поисковых и разведочных скважинах, приведенных к центру тяжести залежи. В каждой скважине статическое давление может быть определено по данным устьевого манометра с учетом средней глубины интервала опробования:

$$P_{\text{CKB0}} = 0.1 \ P_{\text{CKB.M}} \ \text{exp} \ 1293 \ \cdot 10^{-9} H_{\text{H.O}} \delta_{\Gamma},$$

где $P_{\text{скв.м}}$ – манометрическое давление; δ_{Γ} – плотность газа по воздуху, кг/м³; $H_{\text{и.о}}$ – средняя глубина интервала опробования, см.

Среднее остаточное пластовое давление в залежи получают для условий глубины $H_{\text{ц,т}}$ на уровне центра тяжести залежи и стандартного давления на устье всех скважин:

$$P_{\text{oct}} = 0.1 \text{ (exp } 1293 \cdot 10^{-9} H_{\text{II},T} \delta_{\text{r}}).$$

Глубина залегания центра тяжести пластовой залежи с определенной долей условности принимается на уровне половины высоты залежи, а массивной — на уровне одной трети высоты залежи от газоводяного (газонефтяного) контакта. При подсчете начальных запасов свободного газа в процессе поисково-разведочных работ и разработки залежи используются данные о начальных пластовых давлениях, полученные лишь в поисковых и разведочных скважинах до начала разработки. Этим определяется внимание, которое должно уделяться замерам пластового давления при геологоразведочных работах.

Средние значения пластовой температуры $t_{\text{пл}}$ вычисляются по данным замеров в скважинах и также приводятся к уровню центра тяжести залежей.

Коэффициенты K_p и K_t – величины безразмерные.

Коэффициенты извлечения нефти и газа

Вышеприведенные формулы дают нам определение величины геологических запасов залежи – общего количества нефти, газа, конденсата, находящегося в недрах, вне зависимости от возможности его извлечения. Вполне естественно, что тот объем углеводородов, который можно получить из этой залежи при проведении эксплуатационных работ, будет значительно меньше. Поэтому при проведении подсчета запасов пользуются еще одним параметром – коэффициентом извлечения η . Полученные результаты в данном случае характеризуют извлекаемые запасы (ресурсы).

Коэффициент извлечения нефти (КИН) или газа (КИГ) определяет, какая часть геологических запасов в данной залежи может быть извлечена при определенной экономической рентабельности эксплуатационных работ. При определении коэффициента извлечения учитываются, наряду с экономической составляющей, и технические возможности эксплуатации конкретной залежи, и физико-химические свойства встреченных углеводородов. Обоснование КИН, наравне с подсчетом запасов, проходит государственную экспертизу. Вопрос о КИГ пока только в стадии постановки.

В XX веке коэффициент извлечения рассчитывался только для нефтяных залежей (КИН). Однако практика эксплуатации газосодержащих за-

лежей показала, что извлечение запасов свободного газа экономически выгодно при КИГ, равном (в среднем) - 0,85. Оставшаяся часть газа требует для извлечения энергетических затрат, сопоставимых с полученным эффектом, а то и больших. Поэтому в XXI столетии расчет КИГ должен, наряду с расчетом КИН, стать одним из параметров подсчета запасов свободного газа.

Коэффициент извлечения нефти конкретной залежи (месторождения) проходит, как и запасы по этой залежи (месторождению), государственную экспертизу в ФГУ «ГКЗ РФ». Документы по обоснованию КИН представляются в ФГУ «ГКЗ РФ» в виде технико-экономического обоснования коэффициента извлечения нефти (ТЭО КИН). Эта величина подсчитывается на всех этапах изучения залежи (месторождения), начиная от поисковооценочной стадии одноименного этапа, до завершающей стадии эксплуатации данного объекта. Если на первых стадиях изучения объекта величина КИН основывается в большинстве случаев с помощью многофакторного анализа аналогичных объектов, где проведены детальные исследования геологических особенностей пород-коллекторов и физико-химических нефти, то на завершающих стадиях эксплуатации месторождения за основу берутся данные, полученные за весь период отработки.

При завершении уже разведочных работ КИН определяется исходя из полученных в результате работ параметров, основными из которых являются: пористость, проницаемость, литологический состав коллектора, вязкость нефти, химический и фракционный состав нефти, а также экономическая составляющая предлагаемых вариантов извлечения. Гипотетически можно представить, что встреченную залежь (месторождение) можно отработать со 100 % выносом полезного компонента, однако как финансовые, так и временные затраты явно в этом случае будут запредельными. Поэтому в основу ТЭО КИН прежде всего ложится экономический аспект проблемы. Рассматриваются технические возможности извлечения геологических запасов и существующие методы усиления нефтеотдачи (МУН). Следует отметить, что 15 лет платного недропользования далеко отбросили отраслевые показатели КИН по сравнению со среднемировыми. Сегодня в России достигнутый коэффициент извлечения в среднем равен 0,28, в то время как среднемировой – свыше 0,4. Причина – устаревшее оборудование, недофинансирование научно-исследовательских разработок, недоучет экономических вопросов при применении классификаций запасов, действующих в советский период, и т. п.

В настоящее время на месторождениях Западной Сибири, согласно утвержденному регламенту, КИН обосновывают:

- расчетным путем;
- по аналогии:

- условно.

Расчет КИН производится по статистическим зависимостям, коэффициентной методике, методике ВНИГНИ и на основании гидродинамических расчетов (при наличии достаточной информации). Все входящие в расчетные формулы параметры должны быть обоснованы. Расчет КИН производится по сумме категорий $C_1 + C_2$ с возможным выделением КИН по категории C_1 (при наличии достаточной информации для обоснования раздельного КИН по категориям C_1 и C_2).

При принятии КИН по аналогии должны быть сопоставлены основные геолого-промысловые параметры:

- средняя нефтенасыщенная толщина;
- начальная нефтенасыщенность;
- проницаемость;
- коэффициенты песчанистости, расчлененности;
- вязкость пластовой нефти;
- доля ВНЗ;
- дебит нефти.

Условно КИН может быть принят в случае отсутствия методик по определению коэффициента извлечения нефти и других параметров ($K_{\rm H}$, $K_{\rm HH}$) по данному объекту (т. е. когда параметры по объекту $K_{\rm H}$, $K_{\rm HH}$ принимаются условно).

При превышении добычи над числящимися на балансе запасами для залежей с высокой обводненностью (> 70 %) извлекаемые запасы могут быть определены по характеристикам вытеснения.

Литература

Петерсилье В. И., Пороскун В. И., Яценко Г. Г. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом: учебное пособие. М.: ВНИГНИ/НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. 260 с.

Подсчет запасов нефти, газа, конденсата и содержащихся в них компонентов: справочник / И. Д. Амелин, В. А. Бадьянов, Б. Ю. Вендельштейн и др. М.: Недра, 1989. 270 с.

 $Pыльков \ C. \ A., \ Bорожев \ E. \ C. \ Подсчет запасов нефти, газа, конденсата: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. 82 с.$

13. НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ

Нефтегазопромысловая геология — отрасль геологии, занимающаяся детальным изучением месторождений и залежей нефти и газа в начальном (естественном) состоянии и в процессе разработки.

Цель нефтегазопромысловой геологии — геологическое обоснование эффективных способов организации добычи нефти и газа, обеспечение рационального использования и охраны недр и окружающей среды.

Частными целями являются:

- -промыслово-геологическое моделирование залежей;
- -текущий подсчет запасов;
- -геологическое обоснование систем разработки;
- -обоснование рационального комплекса геолого-геофизического наблюдения в процессе поисково-разведочных работ и при разработке месторождений;
- -геологическое обоснование инженерно-технических мероприятий по повышению эффективности разработки, нефте-, газо- или конденсато-отдачи.

Сопутствующие цели: охрана недр, геологическое сопровождение бурения скважин.

Типы залежей нефти и газа

Залежи различают: пластовые, массивные и литологически ограниченные.

Среди пластовых выделяют: сводовые (puc.~13.1), стратиграфически экранированные (puc.~13.2), тектонически экранированные (puc.~13.3) и литологически экранированные (puc.~13.4).

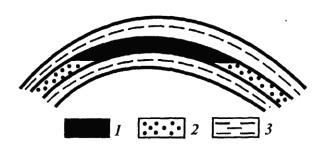


Рис. 13.1. Пластовая сводовая залежь: I — нефть; 2 — вода; 3 — глина

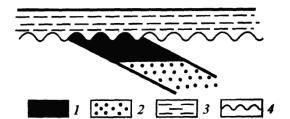


Рис. 13.2. Пластовая стратиграфически экранированная залежь: 1 – нефть; 2 – вода; 3 – глина; 4 – линия размыва

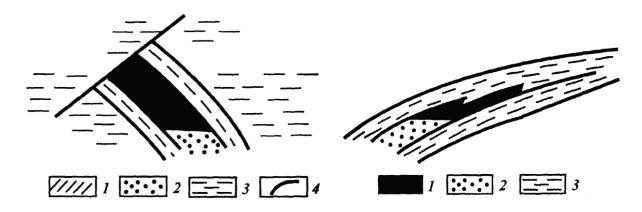


Рис. 13.3. Пластовая тектонически экранированная залежь: 1 — нефть; 2 — вода; 3 — глина; 4 — тектоническое нарушение

Рис. 13.4. Пластовая литологически экранированная залежь: 1 — нефть; 2 — вода; 3 — глина

Массивные залежи могут находиться в своде антиклинальной складки мощного пласта (puc. 13.5), в эрозионном выступе (puc. 13.6) и в биогермном (рифовом) выступе (puc. 13.7).

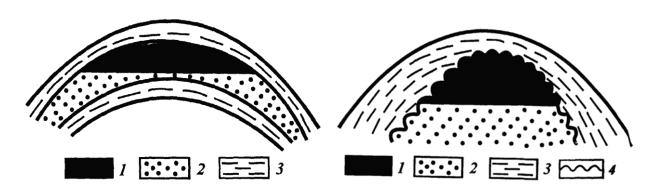


Рис. 13.5. Массивная залежь: 1 — нефть; 2 — вода; 3 — глина

Рис. 13.6. Массивная залежь в эрозионном выступе: I — нефть; 2 — вода; 3 — глина; 4 — линия

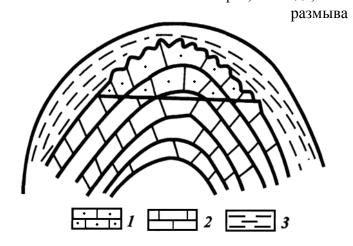


Рис. 13.7. Массивная залежь в рифовом массиве: 1 – нефтеносный известняк; 2 – водоносный известняк; 3 – глина

Литологически ограниченная залежь располагается в резервуаре неправильной формы, ограниченном со всех сторон непроницаемыми породами. Это могут быть залежи в устьевых барах, в пределах устьевых или дельтовых потоков и т. д.

Методы получения геолого-промысловой информации о залежах

- 1. Изучение керна, шлама, проб нефти, газа и пластовой воды является основным при изучении геолого-физических и физико-химических свойств горных пород и флюидов.
- 2. Геофизические методы изучения разрезов скважин позволяют определить последовательность напластований, коллекторские свойства пластов, характер нефтегазонасыщения продуктивных пластов, техническое состояние скважин, а также контролировать разработку залежей нефти и газа. Основными применяемыми геофизическими методами являются электрический, радиоактивный и акустический каротажи. Основное досточиство получение непрерывной информации по всему стволу скважины в отличие от точечной по первому методу. Недостаток косвенность информации, требующей интерпретации.
- 3. Гидродинамические методы исследования позволяют изучить большую площадь (объем) залежи в части фильтрационно-емкостных свойств. Основные из них методы установившихся и неустановившихся отборов, гидропрослушивания и самопрослушивания скважин.
- 4. Методы изучения разрезов скважин с помощью расходомеров и дебитомеров дают возможность определять работающие интервалы ствола, изучать неоднородность фильтрационных свойств по разрезу.
- 5. Геохимические методы. Газовый каротаж и люминесцентнобитуминологический анализ применяются при проходке скважин для качественного определения флюидонасыщенности пород и предупреждения неуправляемых фонтанов. Гидрохимический анализ подземных вод используется в поисково-разведочных и эксплуатационных целях.
- 6. Метод изучения разреза по буримости (механический каротаж) позволяет выделить пласты различной твердости и плотности.
 - 7. Термометрические методы можно разделить на 5 групп:
- замеры пластовой температуры по стволу скважины используются при подсчете запасов, установлении режима залежи и др.;
- термодинамические методы эффективны при изучении гидродинамического состояния разрабатываемых залежей;
- термографические исследования позволяют определять динамическую и эффективную толщины и продуктивность пластов, зафиксировать перетоки флюидов из пласта в пласт и т. д.;

- изучение тепловых полей разрабатываемого месторождения при закачке холодной воды позволяет отслеживать фронт заводнения;
- термометрический контроль позволяет при тепловом воздействии на пласт выявить закономерности движения тепловых потоков в пласте.
- 8. Методы анализа эксплуатации фонда скважин месторождения позволяют, например, по соотношению дебитов и их изменению в процессе разработки судить о закономерностях изменения коллекторских свойств по площади, наличии и ориентированности трещин и т. д.

Методы геологической обработки материалов бурения

По материалам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных, полученных при строительстве скважин, составляется разрез с отражением стратиграфических и литологических интервалов.

Далее производится корреляция (увязка) разрезов скважин, т. е. сопоставление одновозрастных пород, вскрытых скважинами.

Общая локальная корреляция сопоставляет полные разрезы скважин в пределах одной разведочной площади или месторождения с целью выделения и прослеживания по площади опорных реперов, одновозрастных стратиграфических комплексов и продуктивных горизонтов и пластов.

Общая региональная корреляция также выполняется по всему разрезу для прослеживания реперов и стратиграфических горизонтов в пределах зон нефтегазонакопления, нефтегазоносных областей и т. д.

Перед детальной корреляцией стоит задача выделения и прослеживания внутри продуктивного горизонта одновозрастных реперов, проницаемых слоев и непроницаемых пропластков, установления их изменения вследствие выклинивания, литолого-фациального замещения по площади и разрезу с целью детального изучения внутреннего строения залежей (рис. 13.8). Итоговым чертежом, обобщающим результаты корреляции, является корреляционная схема.

Используя корреляционные схемы и материалы полевой геофизики (сейсморазведка, гравиразведка и др.), составляют геологические разрезы, структурные карты, карты распространения коллекторов, карты эффективной нефтегазонасыщенной мощности и т. д. (рис. 13.9).

Геолого-промысловая характеристика залежей

Горные породы, вмещающие в своем пустотном пространстве нефть, газ или воду и способные отдавать их при разработке, называют коллекторами. Коллекторы встречаются в осадочных терригенно-карбонатных породах и значительно реже — в вулканогенных и метаморфических. Кол-

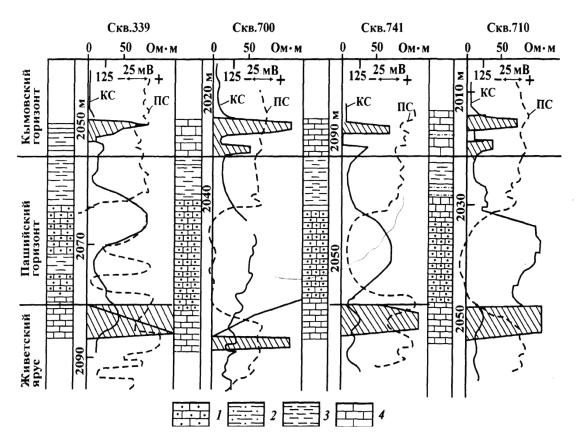


Рис. 13.8. Детальная (зональная) корреляция геолого-геофизических разрезов нижнефранских отложений Шкаповской площади (по В. А. Долицкому):

1 — песчаники; 2 — алевролиты; 3 — аргиллиты; 4 — известняки

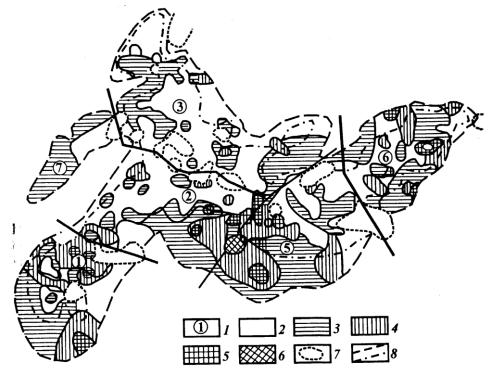


Рис. 13.9. Схема расчлененности пласта Д Серафимовского месторождения: I— номер расчетного участка; зоны развития песчаных прослоев: 2 — одного, 3 — двух, 4 — трех, 5 — четырех, 6 — пяти; 7 — зона отсутствия коллекторов; 8 — внешний и внугренний контуры нефтеносности

лекторские свойства пород определяются их пористостью, проницаемостью и нефтегазонасыщенностью.

Пористость характеризует емкостные свойства породы и определяется объемом свободного пространства, представленного кавернами, порами и трещинами. Для нефтегазопромысловой практики значение имеет открытая пористость — объем сообщающихся пор. Чаще всего встречаются коллекторы порового типа с межзерновой пористостью, реже, преимущественно в карбонатных породах, — каверновые коллекторы. Чисто трещинные коллекторы крайне редки.

Проницаемость определяется способностью среды пропускать флюиды при перепаде давления. В общем случае не существует прямой зависимости между пористостью и проницаемостью. Фазовая (эффективная) проницаемость – проницаемость пористой среды для данной жидкости или газа при одновременном присутствии другой фазы. Распределение и подвижность фаз в поровой системе зависят от проницаемости и смачивающих свойств соответствующих фаз. Большинство пород гидрофильны, и в них остаточная вода избирательно лучше смачивает стенки пор, чем нефть, и, соответственно, менее подвижна.

Пустотное пространство пород-коллекторов, как правило, заполнено углеводородами частично. Содержание остаточной воды зависит от минерального состава, структуры порового пространства, количества глинистого цемента и других факторов. Определение остаточной водонасыщенности производят в лабораторных условиях при изучении керна. В промысловых условиях используется электрический каротаж. Содержание нефти и газа в пласте характеризуется коэффициентом нефтенасыщенности (газонасыщенности) – отношением объема нефти в образце к общему объему пор.

Одна из важнейших характеристик пород-коллекторов — геологическая неоднородность, которую подразделяют на макронеоднородность (отражает морфологию залегания коллекторов в объеме залежи углеводородов) и микронеоднородность (изменчивость фильтрационно-емкостных свойств в границах присутствия коллекторов в пределах залежи). Геологическая неоднородность отображается на разрезах и картах (границы распространения коллекторов, эффективная мощность пласта, контуры нефтеносности и т. д.) и численными коэффициентами (расчлененности, литологической связанности, выдержанности и др.).

Методы определения контактов

Многочисленные методы определения водонефтяного контакта (ВНК) условно объединяются в несколько групп: гидродинамические, оп-

тические, геолого-промысловые, геофизические и методы закачки радиоактивных изотопов или химических маркеров.

Газоводяной контакт (ГВК) определяют в неперфорированном интервале пласта — по кривым нейтронных методов (ННК, НГК, ИННК), в перфорированном интервале — по кривым нейтронных методов, по термометрии, измерениям гамма-плотномером. Кроме того, контроль за положением ГВК осуществляется по промысловым данным.

На начальном этапе положение контактов почти всегда относительно плоское и горизонтальное. В процессе разработки плоскость контакта может приобрести криволинейную форму и наклон. Помимо этого особенности строения коллектора обусловливают наличие переходной зоны, в пределах которой нефтенасыщенность меняется от предельных значений до нуля.

Режимы нефтяных и газовых залежей

Режимом залежи называют характер проявления преобладающего вида пластовой энергии, продвигающий нефть и газ по пласту к забоям скважин и зависящий от природных факторов и мероприятий по воздействию на пласт.

Для нефтяных залежей выделяют 5 режимов:

- 1. Водонапорный нефть и газ перемещаются по пласту к забоям скважин под воздействием гидростатического напора воды в условиях активного восполнения отбора пластовых флюидов природной (естественный режим) или нагнетаемой (искусственный режим) водой. Постоянство пластового давления обеспечивается хорошей сообщаемостью и близостью области питания с нефтяной залежью, большой разницей их гипсометрических отметок, высокой фильтрационной характеристикой пласта, отсутствием в нем тектонических экранов и зон фациального замещения. Применяется фонтанный метод добычи. Достигается наивысший коэффициент нефтеотдачи до 0,8.
- 2. Упруговодонапорный углеводороды вытесняются в скважины упругими силами жидкостей (нефть, вода) и горных пород. Незначительное проявление активности пластовой воды не обеспечивает стабилизации давления при добыче нефти. Режим обусловливается геологопромысловыми факторами: значительным удалением залежи от области питания, наличием в пласте зон фациального замещения и тектонических нарушений, незначительным превышением области питания над залежью, невысокой фильтрационной характеристикой пласта. Фонтанный метод добычи обычно сменяется в конце второго этапа глубинно-насосным. Коэффициент нефтеотдачи колеблется в пределах 0,4 0,7.

- 3. Газонапорный режим (режим «газовой шапки») характеризуется вытеснением нефти в скважины напором сжатого газа, находящегося в свободном состоянии над нефтью. Эффективность проявления режима зависит от отсутствия в пласте фациальных замещений и тектонических нарушений, значительной высоты газовой шапки, хорошей фильтрационной характеристики коллектора, больших углов падения пласта и небольшой вязкости нефти. Происходит постепенное значительное понижение давления в нефтяной части пласта, переход растворенного газа в свободное состояние и в результате повышение вязкости нефти. Значительное внимание следует обратить на перемещение водонефтяного и газонефтяного контактов и меры по их оптимизации. Коэффициент нефтеотдачи 0,5-0,7.
- 4. Режим растворенного газа режим, при котором давление в пласте падает ниже давления насыщения, газ выходит из раствора и, расширяясь, вытесняет нефть к забоям скважин. Режим проявляется при низкой гидродинамической связи нефтяной залежи с законтурной частью пласта или в залежах с упруговодонапорным режимом при значительном понижении давления. Без применения инженерно-геологических мероприятий коэффициент нефтеотдачи составляет 0,1-0,3. Низкая нефтеотдача объясняется высокой вязкостью дегазированной нефти и ограниченным объемом газа в залежи.
- 5. Гравитационный режим режим нефтяной залежи, при котором нефть вытесняется в скважины под действием силы тяжести. Проявляется чаще всего на последней стадии разработки, когда все другие виды пластовой энергии исчерпаны.

Напорно-гравитационный режим обычно фиксируется в залежах, приуроченных к высокопроницаемым крутопадающим пластам. Коэффициент нефтеотдачи -0.3-0.4.

Режим со свободным зеркалом нефти встречается в пластах с низкими коллекторскими свойствами и малыми углами падения. Коэффициент нефтеотдачи, как правило, не превышает 0,1-0,2.

В газовых залежах выделяют 3 режима:

- 1. Газовый, при котором приток газа к скважинам обусловлен потенциальной энергией давления газа. Обычно приурочен к линзам и пластам небольших размеров, литологически, стратиграфически и тектонически экранированных. Снижение пластового давления всегда пропорционально отбору газа.
- 2. Упруговодонапорный режим, при котором газ к забою продвигается упругими силами воды и породы и самого расширяющегося газа. На первом этапе разработки залежь работает, как при газовом режиме. Признаком установления газоупруговодонапорного режима является подъем

газоводяного контакта и снижение пластового давления. Коэффициент газоотдачи -0.7-0.8.

3. Жесткий водонапорный режим обусловлен активным напором краевых и подошвенных вод, полностью восполняющих отбор газа из залежи. Признаками режима является быстрый подъем газоводяного контакта при слабопадающем пластовом давлении. Коэффициент газоотдачи достигает 0,9.

Понятие о разработке и системе разработки

Разработка залежи (месторождения) — выполнение комплекса работ по управлению процессами движения флюидов в пласте к забоям добывающих скважин.

Система разработки — определенная схема разбуривания и ввода в эксплуатацию добывающих и нагнетательных скважин с заданными режимами их работы и установленными методами контроля за правильностью эксплуатации пластов и скважин.

Проектными документами (проектом или технологической схемой разработки) должны быть определены: количество добывающих, нагнетательных, резервных и контрольных скважин, порядок их размещения и очередность ввода в эксплуатацию. Устанавливаются годовые отборы нефти и жидкости, способ поддержания пластового давления, количество закачиваемой воды, сроки фонтанирования скважин и перевода их на механизированную добычу.

Процесс разработки условно делят на 4 стадии (*puc.13.10*). Первая стадия характеризуется разбуриванием залежи основным фондом добывающих и нагнетательных скважин (стадия промышленного освоения залежи) с достижением в конце стадии максимального уровня добычи. Вторая стадия (стабилизации достигнутого уровня) характеризуется разбуриванием оставшихся по проекту скважин. На этих стадиях отбирается 40-70 % извлекаемых запасов нефти в основном фонтанным способом с низкой обводненносью. На третьей стадии происходит значительное снижение добычи нефти и резкое обводнение. К концу ее отбирается до 90 % запасов. На четвертой стадии постепенно снижаются дебиты нефти и продолжается рост обводненности.

Системы разработки многопластовых месторождений

Многопластовым называют месторождение, на котором отдельные залежи приурочены к пластам, занимающим самостоятельное положение в разрезе, отличающимся геологическими характеристиками, свойствами

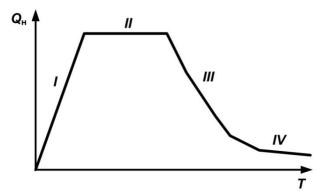


Рис. 13.10. Стадии разработки эксплуатационных объектов

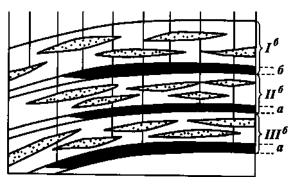


Рис. 13.11. Схема разработки многопластового нефтяного месторождения по комбинированной системе:

a — базисный горизонт; δ — возвратный объект; I^6 , II^6 , III^6 — возвратные объекты соответствующих этажей разработки

флюидов и разделенным непродуктивными толщами. При вводе в эксплуатацию такого месторождения решается вопрос о порядке вовлечения в разработку залежей: сверху вниз, снизу вверх или комбинированно (рис. 13.11). При комбинированной системе разработки выделяют эксплуатационные и возвратные объекты, и каждая серия скважин может буриться как одновременно, так и последовательно. Эксплуатационным объектом называют один или несколько пластов, предназначенных для одновременной самостоятельной разработки одной серией эксплуатационных скважин. Возвратным объектом называют один или группу пластов, которые разрабатываются серией скважин после их использования для разработки нижележащего эксплуатационного объекта. При решении вопроса объединения пластов в один объект учитывают геолого-промысловые, технологические, технические, гидродинамические и экономические факторы.

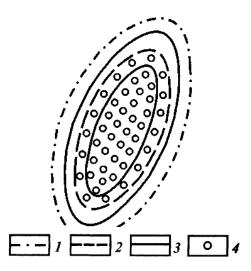
Геологическое обоснование систем разработки

Нефтяные залежи разрабатываются системами: 1) с использованием естественного напора краевых вод; 2) с закачкой воды в законтурную область; 3) с закачкой воды в пределы контура нефтеносности; 4) с сочетанием законтурного и внутриконтурного заводнения.

1. При развитии в залежи водонапорного режима, однородном строении пласта и небольшой вязкости нефти фронт продвигающейся по мере отбора нефти краевой воды параллелен внешнему контуру нефтеносности. Добывающие скважины располагают рядами параллельно контуру нефтеносности (рис. 13.12). Первый ряд для предотвращения преждевременного обводнения обычно располагают в пределах внутреннего контура нефтеносности. По мере обводнения отключают скважины внешних рядов. При массивных залежах перфорируется только верхняя часть продуктивных интервалов.

Рис. 13.12. Система разработки залежей с использованием естественного напора пластовых вод:

1 и 2 – внешний и внутренний контуры нефтеносности; 3 – изогипсы пласта; 4 – добывающие скважины



2. Законтурное заводнение рекомендуется для залежей шириной не более 4-5 км с хорошей гидродинамической связью нефтяной и законтурной частей (рис. 13.13). Добывающие скважины размещают рядами в пределах внутреннего контура параллельно ему. Нагнетательные скважины максимально приближены к внешнему контуру нефтеносности. Следует контролировать баланс между отбором жидкости и закачкой воды. При отрицательном балансе падает пластовое давление, дегазируется нефть, а при превышении закачки повышается давление и происходит интенсивное обводнение продукции скважин.

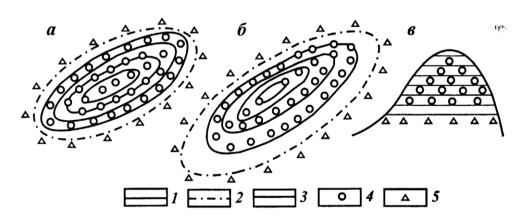


Рис. 13.13. Система разработки нефтяной залежи с законтурным заводнением: a — симметричной сводовой, δ — асимметричной сводовой, ϵ — патологически экранированной; I — изогипсы пласта; 2 — внешний контур нефтеносности; δ — линия литологического ограничения; скважины: δ — добывающие, δ — нагнетательные

Эти система может быть эффективно использована при разработке близлежащих небольших по размеру залежей, когда нагнетательные скважины воздействуют на несколько залежей одновременно.

3. В случае плохой гидродинамической связи залежи с законтурной областью применяют приконтурное заводнение, при котором нагнетатель-

ные скважины располагают в пределах нефтяной залежи на минимальном расстоянии от внешнего контура нефтеносности, а добывающие так же, как и при законтурном заводнении (рис. 13.14, a).

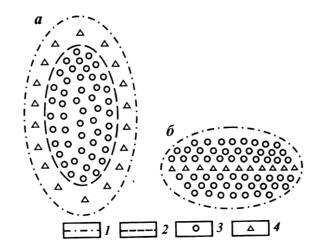


Рис. 13.14. Системы разработки нефтяных залежей:

a — с приконтурным заводнением; δ — с осевым заводнением; I и 2 — внешний и внутренний контуры нефтеносности; скважины: 3 — добывающие, 4 — нагнетательные

Внутриконтурное заводнение рекомендуется при больших рамерах залежи по площади и многовариантно по исполнению в зависимости от строения пласта и свойств нефти (осевое — рис. 13.14, δ ; центральное, с разрезанием на блоки рядами нагнетательных скважин — рис. 13.15, δ ; с площадным заводнением — рис. 13.16, очаговое заводнение и др.).

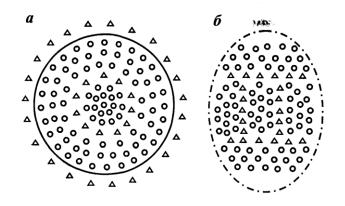


Рис. 13.15. Система разработки нефтяных залежей:

a – с кольцевым заводнением; δ – с разрезанием на блоки рядами нагнетательных скважин

4. Комбинированные системы сочетают различные виды заводнения при сложных условиях разработки или на завершающей стадии при доработке участков залежи, не охваченных заводнением основной системы.

Разработку нефтегазовых залежей осуществляют системами: 1) без поддержания пластового давления; 2) с законтурным заводнением; 3) с барьерным заводнением.

1. Система разработки без поддержания простого давления рекомендуется для объектов, где основными движущими силами являются энергия газа газовой шапки и энергия подошвенной воды.

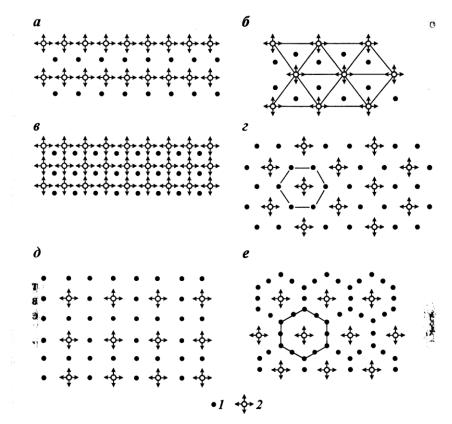


Рис. 13.16. Система разработки залежей с площадным заводнением: a — линейная; δ — четырехточечная; ϵ — пятиточечная; ϵ — семиточечная; ϵ — девятиточечная; ϵ — ячеистая. Скважины: ϵ — добывающая, ϵ — нагнетательная

- 2. Система разработки с законтурным заводнением применяется на объектах, где объем газовой части пласта невелик по сравнению с нефтяной частью, энергия пластовой системы незначительная, коллекторские свойства пласта низкие. Нагнетательный ряд располагается за внешним контуром нефтеносности.
- 3. Система разработки с барьерным заводнением рекомендуется, когда проницаемость в крест напластования гораздо ниже, чем по напластованию пород. Наибольшая эффективность достигается при наличии плотных непроницаемых пропластков в интервале газонефтяного контакта. Нагнетательные скважины бурятся вдоль внутреннего контура газоносности, закачиваемая вода образует барьер, изолирующий газонасыщенную часть залежей от нефтенасыщенной.

Размещение добывающих и нагнетательных скважин

В настоящее время выделяют системы размещения скважин по равномерной сетке и неравномерные системы размещения скважин. Системы по равномерной сетке делят на квадратные и треугольные, чаще применяют треугольную сетку.

Системы размещения скважин подразделяют и по степени уплотнения, по темпу ввода и порядку ввода скважин по эксплуатации. Это зависит от методов технологии добычи нефти и геолого-промысловых особенностей залежей.

Неравномерные системы размещения по форме рядов делят на две группы: с незамкнутыми рядами и с замкнутыми (кольцевыми) рядами. Незамкнутые ряды применяют при разработке стратиграфических или литологически экранированных залежей. Нагнетательные скважины размещают на участках с лучшими коллекторскими свойствами и в наиболее пониженных частях залежей. Расстояние между ними зависит от вязкости нефти и агента, толщин объекта, его фильтрационных характеристик, направления простирания зон с выклиниванием коллектора.

Методы контроля за разработкой эксплуатационных объектов

В процессе разработки осуществляют контроль изменения свойств нефти, воды и газа. Их анализ производится в лаборатории.

При решении геолого-промысловых задач по регулированию продвижения контуров нефтегазоносности, оценки текущих коэффициентов нефтеотдачи и др. необходимо знание текущего положения водонефтяного и газонефтяного контактов. Определение местоположения ВНК, ГВК производят по данным обводнения скважин, гидрохимическим и промысловогеофизическим методам.

Если скважина эксплуатирует объект, состоящий из одного пласта, то вся информация по скважине характеризует именно этот пласт (дебит, обводненность, газовый фактор и др.). Если в объект разработки объединены несколько пластов из-за различия коллекторских свойств, разрабатываемых общим фильтром, по информации, получаемой из скважины, невозможно судить о работе каждого пласта. Для определения работы пластов многопластового объекта существует целый ряд методов. В добывающих скважинах применяют механическую и термокондуктивную дебитометрию, термометрию, плотнометрию, влагометрию и резистивиметрию. В нагнетательных скважинах помимо этого используют закачку меченых веществ. Кроме того, используют данные фотоколориметрии нефти, гидродинамических исследований по взаимодействию скважин и т. п.

Методы регулирования разработки эксплуатационных объектов

На основе анализа и контроля разработки месторождений выявляют расхождения между фактическими и проектными показателями. К числу технологических методов разработки с целью достижения относятся:

- 1. Изменение режимов эксплуатации, добывающих нагнетательных скважин путем изменения их дебитов и расходов вплоть до отключения скважин.
- 2. Общее или поинтервальное воздействие на зону скважин с целью увеличения притока нефти из отдельных прослоек (дополнительная перфорация, кислотная обработка и т. д.).
- 3. Увеличение давления нагнетания, поинтервальная закачка в прослое пласта при дифференцированном давлении нагнетания.
 - 4. Изменение направления фильтрационных потоков.

К методам регулирования, связанным с частичным изменением системы разработки, относят:

- 1. Очаговое и избирательное воздействие на объекты путем закачки в пласт агентов через специально пробуренные скважины.
 - 2. Уплотнение сетки скважин при квадратно-равномерной схеме.
 - 3. Установка в скважине пакеров с целью разукрупнения объектов.
 - 4. Форсированный отбор жидкости.

Методы увеличения нефтеотдачи

Увеличение коэффициента нефтеотдачи является важной экономической задачей. По отношению к системам с использованием естественной энергии пластового давления и с заводнением их часто называют третичными. К методам повышения нефтеотдачи относят: применение полимерного заводнения, использование тепловых методов для разработки высоковязких нефтей, микробиологические методы увеличения нефтеотдачи, закачку поверхностно-активных веществ (ПАВ), селективную изоляцию водопритока силикатно-щелочными реагентами, циклическое воздействие, водогазовое воздействие, закачку широкой фракции легких фракций углеводородов (ШФЛУ).

Литература

Каналин В. Г. Справочник геолога нефтегазоразведки: нефтегазопромысловая геология и гидрогеология: учебно-методическое пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2005. 413 с.

Максимов Е. М. Литология природных резервуаров нефти и газа: учебное пособие. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 432 с.

Чоловский И. П., Иванова М. М., Брагин Ю. И. Нефтегазопромысловая геология залежей углеводородов. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006. 680 с.

14. НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОФИЗИКА

К настоящему времени промыслово-геофизический контроль за эксплуатацией нефтяных и газовых скважин (ГИС-контроль) приобрел статус самостоятельного направления как по задачам, так и по методам их решения. Его конечной целью является информация для оптимизации работы скважины, прогнозирования отработки продуктивных пластов, обоснования мероприятий по подземному ремонту, а также для решения других стратегических и текущих проблем разработки месторождений. Для этого используются методы изучения притока-состава (механическая и термокондуктивная расходометрия, манометрия, термометрия, влагометрия и пр.), оценки текущего насыщения пластов и технического состояния скважин.

Применение методов ГИС-контроля разработки месторождений нефти и газа

В настоящее время геофизические методы контроля разработки месторождений образуют самостоятельное направление ГИС, которое часто называют промыслово-геофизическими исследованиями – ПГИ.

Цель ПГИ — получение информации о состоянии продуктивных пластов и изменениях, происходящих в процессе вытеснения из них углеводородов, для выбора оптимальной системы регулирования отбора и их максимального извлечения.

Классификация газогидродинамических исследований определяется назначением этих исследований и зависит от поставленных и решаемых задач. В целом исследования методами ГИС-контроля делят на *текущие* и специальные.

К числу специальных исследований относят:

- работы по контролю за положением газожидкостного контакта (ГЖК) в выбранных для этой цели наблюдательных или действующих скважинах:
- установление степени истощения отдельных пластов с определением поинтервальных притоков и дебитов;
- определение возможного перетока флюида из одного горизонта в другой при их совместном вскрытии;
 - определение разрушения призабойной зоны;
- проведение работ по интенсификации пласта (дополнительная перфорация, ликвидация негерметичностей колонн и укрепления призабойной зоны, установка цементных мостов);
 - определение мест поглощения с использованием изотопов и т. д.

К основным методам газодинамических исследований можно отнести:

- термометрию (измерение температуры в стволе скважины);
- расходометрию (измерение скорости и определение расхода флюида);
- манометрию (измерение давления).

В комплексе с этими методами обычно используется радиометрия (гамма- и нейтронный гамма-методы, импульсный нейтрон-нейтронный метод).

К числу специальных исследований относят шумометрию и методы изучения состава флюида в стволе (влагометрию, плотнометрию и др.).

Используемая методика исследований зависит от условий в скважине.

Условия регистрации определяются характером изменения во времени основных газодинамических параметров пласта и зависят от:

- назначения скважины (наблюдательная, газовая, газоконденсатная, нефтяная);
- режима ее работы (статика, динамика, работа после компрессирования, работа «из-под накопления», нефонтанный приток, бесприточный «сухой» объект);
- особенностей конструкции (открыты, частично или полностью перекрыты интервалы перфорации);
 - свойств окружающих пород.

На настоящем этапе разработки месторождений задачи, которые ставятся перед геофизиками, геологической службой, постоянно усложняются:

- определение дебитов при трехфазном потоке в скважинах;
- поиск негерметичности эксплуатационной колонны и насоснокомпрессорных труб (НКТ);
- определение места поступления воды и технического состояния скважины;
 - скопление и вынос жидкости и твердых примесей с забоя скважины;
- изменение фазовых состояний при движении флюида в пласте, стволе скважины;
 - наличие межпластовых перетоков за колонной и по стволу скважины;
- определение газожидкостных контактов при низкой минерализации пластовых вод и т. д.

Геофизиками постоянно накапливается опыт решения этих непростых задач, формируется база данных, а также осваиваются методы и методика проведения таких работ.

Обработка материалов регистрации идет в два этапа.

- І. Предварительная обработка результатов измерений:
- обработка результатов градуировки скважинных модулей всех типов, в том числе результатов калибровки датчиков на скважине;
 - оценка качества первичных материалов;

- редактирование оцифрованных диаграмм с учетом специфики способов регистрации (цифровой, аналоговый, цифроаналоговый);
 - создание диаграмм по опорным точкам;
- увязка материалов по меткам, по глубинам и привязка к комплексу
 ГИС в открытом стволе.

II. Интерпретация

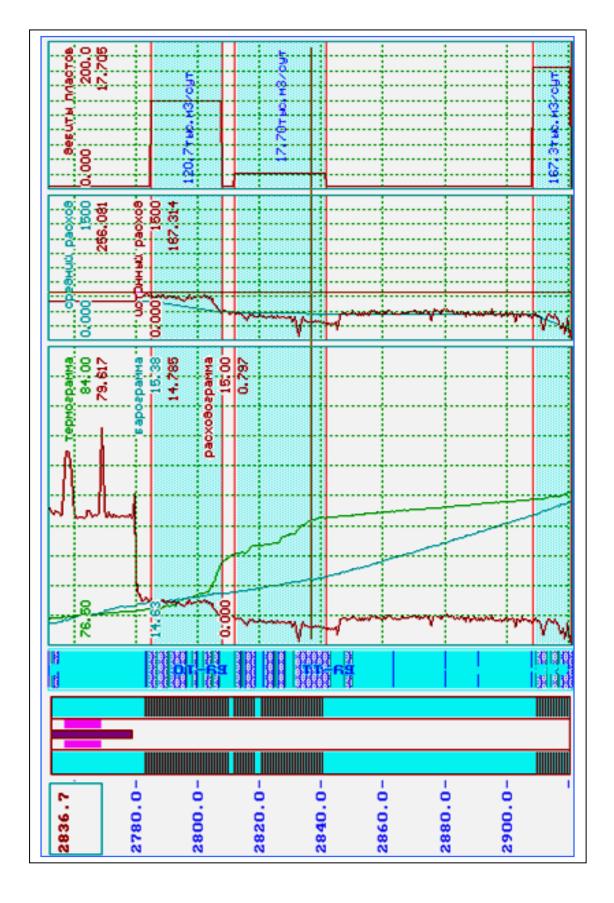
Задачи, решаемые при интерпретации данных гидродинамико-геофизических исследований, достаточно разнообразны, в связи с этим их можно распределить на девять групп:

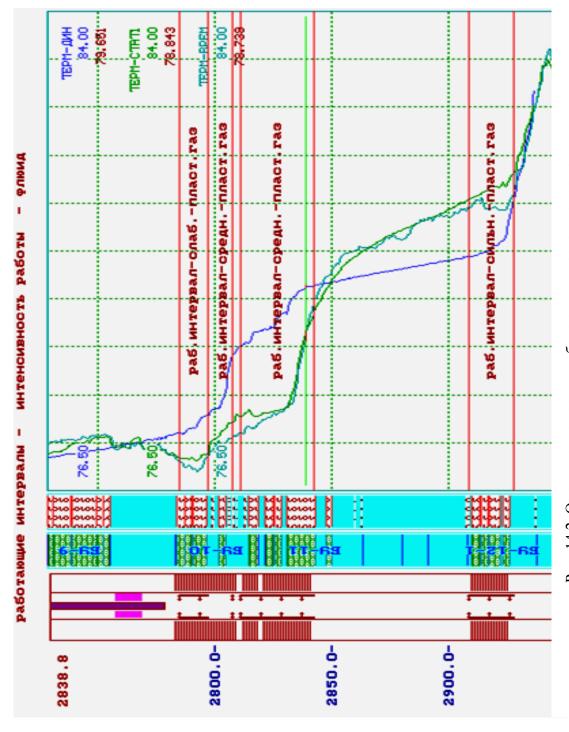
- аномальные интервалы (рис. 14.1-14.5; прил. 15);
- профиль однородного притока (поглощения) (см. рис. 14.3, 14.4);
- расходные параметры и состав многофазного потока (*см. рис. 14.1-14.5; прил. 15*).
 - нейтронная пористость.
 - насыщение продуктивных пластов (см. puc. 14.2-14.5).
- емкостные и эксплуатационные параметры пластов (*см. рис. 14.3-14.4*).
 - уточнение конструкции скважины (*см. рис. 14.1-14.4*).
 - техническое состояние скважины.
 - динамика отработки пластов.

Задачи, решаемые методами ГИС

При промыслово-геофизических исследованиях приходится решать различные задачи, которые могут быть объединены в несколько групп в зависимости от цели исследований.

- 1. Изучение эксплуатационных и энергетических характерных неф-тяных и газовых пластов. В эту группу входит решение следующих задач:
 - выделение интервалов притока и приемистости пластов;
- определение их работающих мощностей (профиль притока) (*см. рис. 14.1, 14.3, 14.4*);
 - определение дебитов (расхода) (см. рис. 14.1, 14.3);
- определение пластового давления и расчет коэффициента продуктивности;
 - контроль процессов интенсификации притока нефти;
 - изменение фильтрационно-емкостных свойств пластов во времени.
- 2. Изучение состава и структуры потока жидкости по стволу скважины с целью определения интервалов и количества поступления нефти, газа и воды в скважину, определение плотности флюида, заполняющего ствол скважины, уровней раздела сред по стволу в статике и динамике (см. рис. 14.3, 14.4).





I — термометрия — динамика; 2 — термометрия — статика; 3 — термометрия — временной замер Рис. 14.2. Определение границ работающих пластов по термометрии:

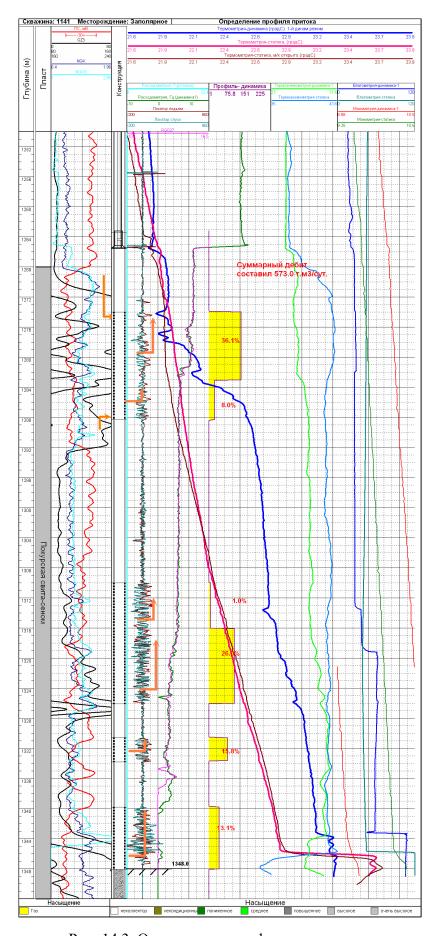


Рис. 14.3. Определение профиля притока

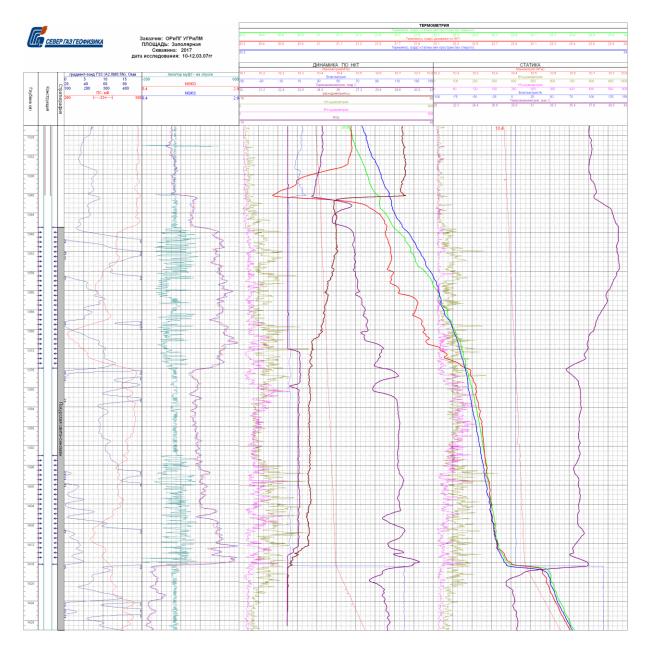


Рис. 14.4. Сводный планшет

- 3. Изучение процессов вытеснения нефти водой посредством прослеживания изменения положений водонефтяного и газожидкостных контактов и определения текущей и остаточной нефтенасыщенности пластов.
- 4. Изучение технического состояния скважин, выявление негерметичности обсадных колонн и насосно-компрессорных труб (НКТ), мест затрубной циркуляции газа, жидкости, контроль установки глубинного оборудования и пр.

При решении задач четвертой группы используют акустические и гамма-гамма методы для изучения качества цементирования скважин, индукционные и гамма-гамма методы для дефектометрии обсадных колонн, термометрические методы для обнаружения дефектов в обсадных колоннах и выявления места затрубной циркуляции.

В задачу геофизиков входит объяснение с известных физических позиций наблюдаемых в скважине эффектов. Полученные геофизические материалы можно разделить на две группы:

- иллюстрирующие широко известные и апробированные способы решения задач контроля (определение границ работающих пластов, количественная обработка результатов при движении в стволе однофазного флюида и т. п.);
- показывающие возможности газодинамических методов при решении более сложных задач (например, интерпретация результатов и количественная оценка дебитов при притоке многофазного флюида (нефть, газ, вода), также исследования в скважинах, осложненных дефектами технического состояния при двух- и многофазном притоке).

Чем больше информации получают геофизики о скважине и чем больше диаграмм удается объяснить с точки зрения физических явлений, чем логичнее это объяснение, тем достовернее полученный результат, а следовательно, заключение об объекте исследования.

При интерпретации геофизического материала решается ряд задач *на качественном и количественном уровне:*

- ✓ определение аномальных интервалов;
- ✓ определение профиля однородного притока (поглощения);
- ✓ выделение работающих пластов;
- ✓ определение расходных параметров и состав многофазного потока;
- ✓ определение насыщения продуктивных пластов;
- ✓ определение емкостных и эксплуатационных параметров пластов;
- ✓ определение положения контактов залежей;
- ✓ уточнение конструкции скважины;
- ✓ техническое состояние скважины.

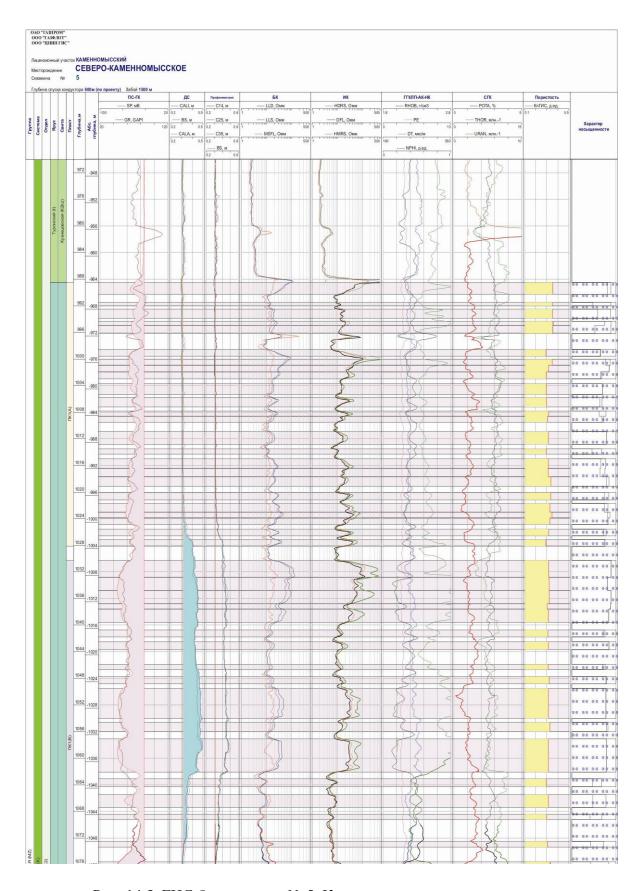


Рис. 14.5. ГИС бурение скв. № 5. Каменномысовское месторождение

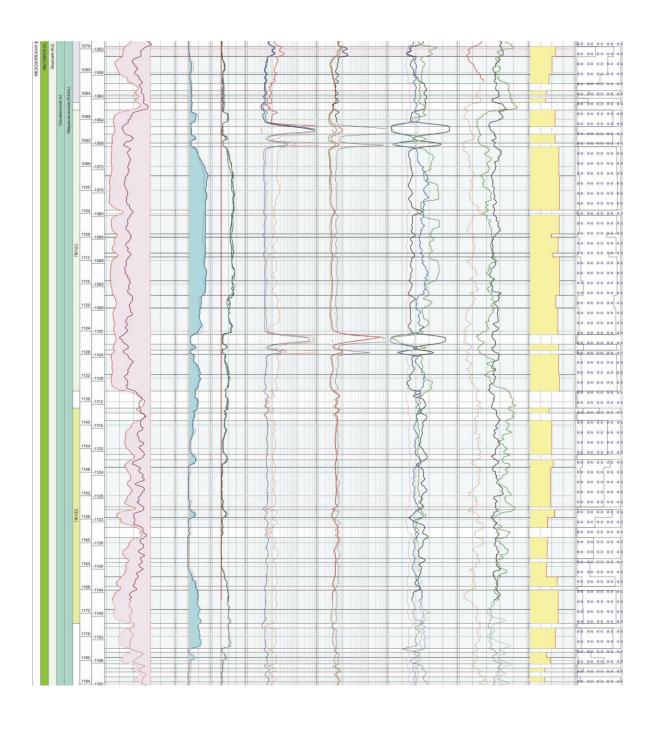


Рис. 14.5. ГИС бурение скв. № 5. Каменномысовское месторождение (окончание)

Решение каждой из перечисленных задач зависит от информативности используемых методов и режимов регистрации и начинается с выявления аномальных интервалов (см. рис. 14.1-14.5).

Под *«аномальными интервалами»* понимают такие интервалы в скважине, в пласте, продуктивные характеристики у которых меняются в процессе эксплуатации. В частности, к ним относят:

- работающие мощности пласта;
- интервалы обводнения пласта.

Классификация газодинамических методов

1. Методы газодинамических исследований подразделяют, прежде всего, по *типу измеряемого в скважине параметра*. К основным газодинамическим методам относят: термометрию (измерение температуры в стволе скважины), расходометрию (измерение скорости и определение расхода флюида) и манометрию (измерение давления).

В комплексе с газодинамическими методами обычно используется радиометрия (гамма- и нейтронный гамма-методы, импульсный нейтроннейтронный метод).

К числу специальных исследований относят *шумометрию*, а также методы изучения притока и состава флюида в стволе (влагометрию, плотностеметрию, термоанемометрию и др.).

- 2. Методика любого газодинамического исследования зависит от условий проведения ГИС в скважине. Они определяются диапазоном, характером изменения во времени основных газодинамических параметров и зависят от назначения скважины, режима ее работы, особенностей конструкции, свойств окружающих пород.
- 3. По характеру изменения газодинамических параметров во времени различают стационарные, нестационарные и квазистационарные условия.

Для стационарных условий характерна независимость измеряемых параметров от времени. Условия, близкие к стационарным, наблюдаются в неработающих длительное время скважинах. В таких скважинах формируется геотермическое распределение температуры и гидростатическое распределение давления.

Нестационарные условия характеризуются существенной зависимостью параметров от времени. Нестационарны все процессы, связанные с эксплуатацией скважины. Они выражены наиболее ярко в течение первых нескольких часов после изменения режима работы скважины (при пуске, остановке, изменении депрессии на пласты).

Условия называют квазистационарными, если параметры измерения меняются во времени настолько медленно, что с достаточной для практи-

ческих целей точностью допустимо их приближенное описание как стационарных.

Квазистационарными считают условия в скважине, работающей длительное время на одном и том же режиме (практически с неизменным расходом или депрессией (репрессией)). При этом определяющим условием квазистационарности режима является несущественное влияние предшествующего этапа работы скважины. Необходимое для этого время может меняться от нескольких часов до нескольких суток, в зависимости от производительности скважины, депрессии и других факторов.

Как квазистационарные рассматриваются также условия в неработающих скважинах в интервалах межпластовых перетоков, движения жидкости и газа по простиранию пластов.

Методы газодинамических исследований подразделяют, прежде всего, по *типу измеряемого в скважине параметра*.

Они определяются диапазоном, характером изменения во времени основных газодинамических параметров и зависят от назначения скважины, режима ее работы, особенностей конструкции, свойств окружающих пород.

По характеру изменения газодинамических параметров во времени различают стационарные, нестационарные и квазистационарные условия.

Конечная цель ГИС – контроль разработки и параметров добычи.

Открытие новых газоконденсатных, сероводородсодержащих и газоконденсатно-нефтяных месторождений на всё больших и больших глубинах, эксплуатация скважин которых проводится при высоких депрессиях, а также ввод в разработку высокопроизводительных скважин месторождений севера Тюменской области, эксплуатируемых и исследуемых иногда при депрессиях, равных по величине классу точности используемых манометров, обусловливает необходимость постоянного поиска и разработки новых технологий, методик, а также постоянного усовершенствования и обновления аппаратурного парка, учитывающих особенности этих месторождений.

В настоящее время промыслово-геофизический контроль эксплуатации нефтяных и газовых скважин (ГИС-контроль) имеет статус самостоятельного направления как по задачам, так и по методам и способам их решения. Его конечной целью является информация для оптимизации работы скважины, прогнозирования отработки продуктивных пластов, обоснования мероприятий по подземному ремонту, а также для решения стратегических и текущих проблем разработки месторождений. На состояние скважины в процессе выполнения геофизических измерений влияет большое число разнообразных факторов. В их числе: особенности геологического строения объекта эксплуатации, характер вскрытия продук-

тивной толщи, конструктивные особенности, техническое состояние ствола и подземного оборудования. В процессе измерения глубинных или устьевых замеров могут изменяться интенсивность, состав и структура потока флюидов в стволе. Кроме того, скважина и пласты испытывают разнообразные технологические воздействия.

Практически основная часть рекомендуемых методик по интерпретации результатов исследования в большинстве случаев получена для однородных изотропных пластов (таковы научные разработки и предлагаемые методы), хотя на практике такие пласты отсутствуют. Учет неоднородностей залежи по разрезу и радиусу существенно осложняет методику обработки полученных результатов, и в настоящее время нет однозначных, точных и простых формул для обработки результатов газодинамических параметров исследования скважин, вскрывших неоднородные, многопластовые залежи без организации информационных, геофизических, автоматизированных систем контроля и баз данных (БД).

В силу перечисленных причин автоматизированная обработка результатов промыслово-геофизического контроля не может рассматриваться в отрыве от способов получения промыслово-геофизической информации. Информация является одним из базовых понятий промыслово-геофизических исследований (ПГИ). По сути такие исследования включают непрерывный цикл движения информации, начинающийся с момента бурения скважины и измерений в ней и завершающийся комплексным анализом и обобщением всей имеющейся информации.

Поэтому геофизические исследования скважин в целом можно рассматривать как сложную комплексную систему, обеспечивающую проведение измерений в скважинах, передачу информации по каналам связи, а также её архивацию, накопление, анализ, обработку, интерпретацию и документирование. К сожалению, ни одна из существующих сегодня систем автоматизированной интерпретации пока ещё не решает в полном объёме всех задач ГИС-контроля. Разработанные системы часто элементарно реализуют лишь локальные способы интерпретации, копируя уже известные «ручные» способы и технологии. В рамках подобных систем развиваются проблемно-ориентированные интерпретационные алгоритмы для обработки и интерпретации, но их набор ограничен локальными задачами.

Основная задача геофизических служб — оперативность, объективность, полнота использования всей имеющейся информации, а отсюда и достоверность заключений по результатам ГИС.

Современные Методико-информационные системы (МИС) и их основа организации — Методико-информационное обеспечение (МИО) — должны синтезировать в себе все средства движения геофизической информации, одновременно обеспечивая этапы: измерения, передачи, хране-

ния, обработки и выдачи информации. Главным направлением развития таких систем должно быть целенаправленное совершенствование не только алгоритма интерпретации, но и самих методик и технологий исследования с целью расширения круга решаемых задач и повышения достоверности заключений. Апробация таких разработок должна проводиться не «теоретически», а на действующих объектах добычи. Современная геофизическая МИС должна являться неразрывным синтезом технологии и методик исследования скважин, способом обработки и интерпретации получаемых данных. Это сделает возможным использование системы для динамического (площадного и временного) анализа состояния скважины, вмещающих пластов и залежи в целом. Для отраслевых геофизических МИС должна быть продумана и предусмотрена возможность связи и взаимодействия с другими типами глобальных БД геологов, разработчиков и всех, кто участвует в интерпретации комплекса информации по объекту на принципиально важных этапах разведки, обустройства, ремонта, разработки, исследования и эксплуатации.

Литература

Вендельштейн Б. Ю., Резванов Р. А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов (при подсчете запасов и проектировании разработки месторождений). М.: Недра, 1978. 318 с.

Сковородников И. Г. Геофизические исследования скважин: курс лекций. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 294 с.

Третьякова Л. И. Газодинамический контроль за разработкой месторождений нефти и газа: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009.134~c.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматривая представленное пособие именно как визитную карточку кафедры, можно надеяться, что оно выполнило свою главную — представительскую — функцию. Весьма разноплановые и различающиеся по стилю и характеру изложения разделы собраны под одной обложкой и в достаточной мере характеризуют тот коллектив, история возникновения которого описана в предисловии. Познакомившиеся с пособием имели возможность убедиться в том, что, при существенной разноплановости и многовекторности отдельных разделов, всех их объединяет главное: они написаны специалистами, профессионально занимающимися той или иной областью в обширном спектре отраслей геологического знания. В перечисленном заключается оригинальность пособия, которое, по всей видимости, не имеет аналогов — по меньшей мере, нам они неизвестны.

Мы рассчитываем на то, что пособие будет полезно пользователю, мало искушенному в обширном континууме геологического знания (студентам негеологических специальностей, слушателям курсов разных форм обучения и др.). Такое положение основано на том, что в нем дается последовательное изложение суммы сведений для формирования довольно полного представления как о строении, составе и условиях формирования литосферы в целом и осадочных толщ в частности, так и о горючих ископаемых нефтяного ряда, содержащихся в таковых. Тем самым, познакомившись с данным пособием, заинтересованный читатель вполне может получить тот минимум знаний, который представляется необходимым и достаточным для ориентировки в обилии информации, которым оперирует геология в целом и нефтегазовая в частности. Выскажем осторожно надежду и на то, что изложенные сведения могут быть также полезны для читателей, получивших соответствующее специальное геологическое образование, но желающих освежить знания в системе последовательно рассмотренных позиций, собранных в этом учебном пособии.

Сведениями об авторах, которые приведены в завершающей части, представлен более детальный уровень презентации кафедры литологии и геологии горючих ископаемых Уральского гос. горного университета. Иначе говоря, от визитной карточки кафедры ЛГГИ УГГУ в целом мы перешли к визитным карточкам авторов и составителей пособия. Если у его читателей возникнет потребность в более детальном ознакомлении с теми или иными вопросами, то предъявители конкретных «визиток» постараются в этом помочь.

От имени авторов – редактор-составитель В. Алексеев

приложения

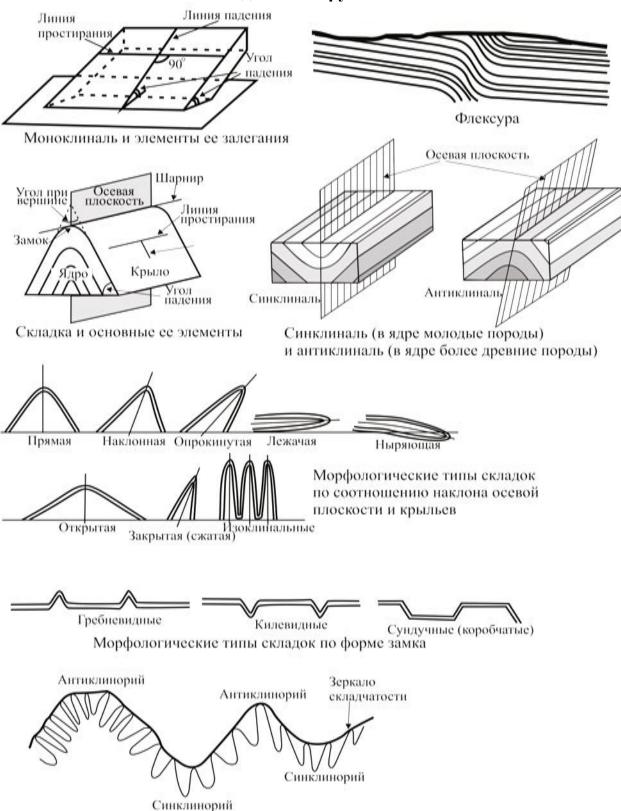
Приложение 1

ВАЖНЕЙШИЕ РУБЕЖИ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ, млрд лет (по [Короновский и др., 2006])

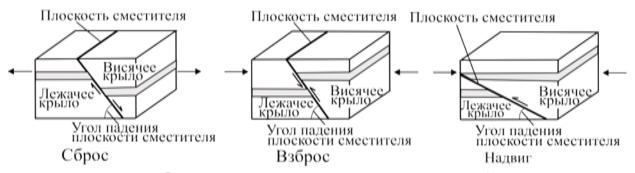
12–15	Большой взрыв и образование Вселенной
5,00	Образование Солнца
4,45–4,66	Образование планеты Земля
4,30–4,20	Возраст древнейших обломочных минералов цирконов (Западная
.,20 .,20	Австралия)
4,00	Возраст древнейших на Земле пород (Канада, Гренландия) и фор-
,,,,,	мирование первичной земной коры
3,80	Появление первых прокариот (микрофоссилий)
3,50	Достоверные следы магнитного поля, не отличающегося от со-
,,,,,	временного
3,20	Начало образования зрелой континентальной коры
2,50	Образование суперматерика Пангеи-0. Покровное оледенение
,	(гуронское)
2,00	В атмосфере устанавливается присутствие кислорода
1,80	Образование Пангеи-І
1,40	Появление первых эукариот (водоросли)
0,80	Распад Пангеи-І
0,80	Появление многоклеточных растений (водоросли)
0,67	Появление вендской бесскелетной фауны (эдиакарской)
0,57	Возникновение скелетной фауны беспозвоночных
0,56	Количество кислорода в атмосфере достигает 1/3 от современного
0,46	Первые наземные растения
0,45-0,43	Массовое вымирание организмов
0,42	Появление рыб – первых позвоночных
0,25	Появление голосеменных растений
0,25-0,24	Массовое вымирание организмов
0,24	Образование Пангеи-II, массовые излияния базальтов
0,16	Распад Пангеи-II и начало образования современных океанов
0,11	Появление покрытосеменных растений
0,065-0,060	Массовое вымирание организмов, импактные структуры, массо-
	вые излияния базальтов
0,065	Появление млекопитающих
0,035	Покровное оледенение Антарктиды
0,006	Покровное оледенение Арктики
0,004	Первые гоминиды, ходившие на двух ногах
0,0025	Появление Homo habilis – человека умелого
40–10 тыс.	Появление Homo sapiens – человека разумного
лет	

НАРУШЕННОЕ ЗАЛЕГАНИЕ СЛОЕВ ГОРНЫХ ПОРОД

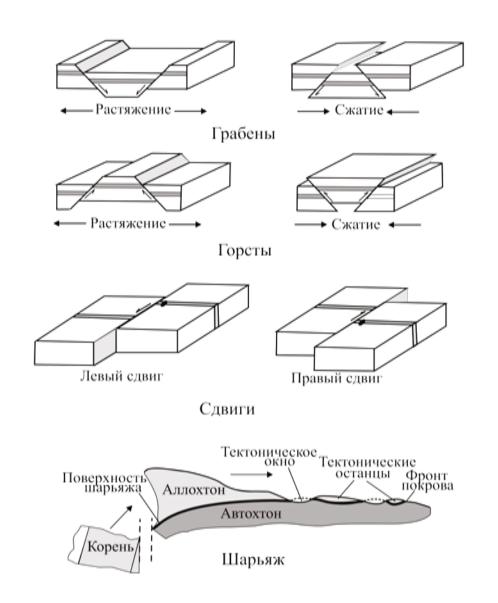
Складчатые нарушения



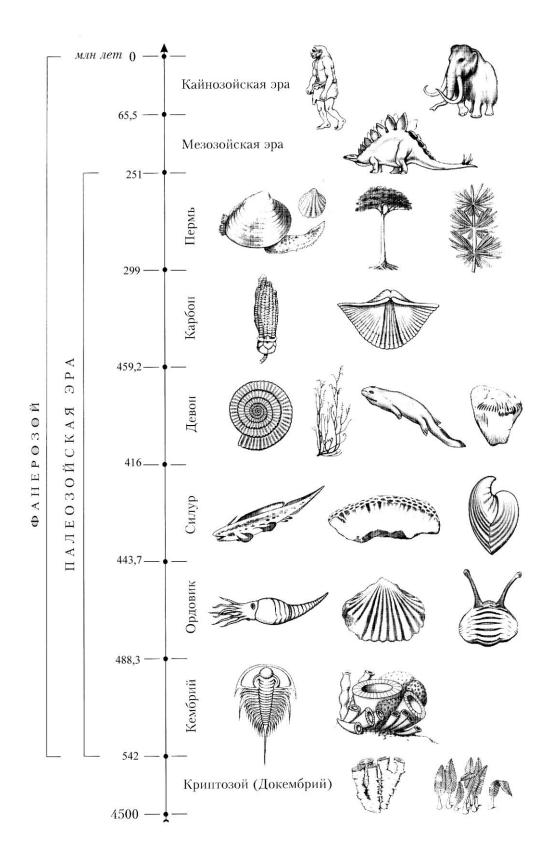
Разрывные нарушения



Основные элементы разрывных нарушений



РАЗВИТИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА В ФАНЕРОЗОЕ



ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛА ОСШ-2006, ДЕЙСТВУЮЩАЯ В РОССИИ 1

Общая стратиграфическая шкала четвертичной системы

	Общ	ие стр подра	атиграфі азделения	ические я	ле еские г лет)	Γ	еохроноло	гичес	кие под	разделения		
Система	Надраздел (отдел)	Раздел (подотдел)	Звено	Ступень	Основные хронологические рубежи (млн лет)	Период	Эпоха	Фаза	Пора	Термохрон, криохрон		
	Голоцен Q _h				- 0,01-		Голоцено- вая					
Четвертичная (квартер) Q	н Ор	стоцен Q _N °	Верхнее	Четвертая Третья Вторая Первая	- 0,01-	чный (квартер)	новая	Неоплейстоценовая	Поздняя	Поздний криохрон Поздний термохрон Ранний криохрон Ранний термохрон		
Четвертич	Плейстоцен	Неоплейстоцен	Ниж- Сред- нее нее			Четвертичный	Плейстоценовая	Неоплейс	Ранняя Сред- няя			
		Эоплейсто- цен Q _E	Ниж- Верх- нее нее		0,8 -	0,8 -	0,8 -			Эоплейсто- ценовая	По-	
		Эопл це	Ниж. нее		- 1,8 -			Эоп. це	Ран- няя			
Неогеновая	Плиоцен	Верхний			- 1,0 -	Неогеновый	Плиоцено- вая					

 $^{^{1}}$ Стратиграфический кодекс России. Издание третье. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.

Общая стратиграфическая шкала фанерозоя

те-	Сис- те-	Отполь	и полотлоли	G _{DVO}	Возра	ст, млн лет
ма	ма	Отделы и подотделы		Ярус	I	2
		Плиоцен	Верхний N_2^3	Гелазский N_2 gl	- 2,6 -	- 2,588 -
		N ₂	Средний N_2^2	Пьяченцский N_2 ріа	- 3,4 -	- 3600 -
	Z	112	Нижний N_2^1	Занклский N ₂ zan	- 5,4 - - 5,3 -	- 5,332 -
	зая		Верхний N ₁ ³	Mессинский N ₁ mes	- 5,5 - - 7,1 -	
	Неогеновая			Тортонский N ₁ tor	- 7,1 - 11,5-	
	leor	Миоцен	Coorună N 2	Серравальский N ₁ srv		
KZ	田	N _i	Средний N ₁ ²	Лангийский N ₁ lan	14,7 16,5	
ЯК			118 N l	Бурдигальский N ₁ bur		55 555,555
іска			Нижний N_1^1	Аквитанский N ₁ aqt	- 20,5 -	
Қайнозойская		Олигоцен	Верхний Р ₃ ²	Хаттский P ₃ h	- 23±1-	el .
айн		P_3	Нижний P_3^{-1}	Рюпельский Р 3г	- 28 -	-28 ± 0.1
K	К Палеогеновая Р		Верхний Р ₂ ³	Приабонский Р₂р		- 33,9±0,1 -
		Эоцен	C * D?	Бартонский Р ₂ b		- 37,2±0,1 -
ено	\mathbf{P}_{2}	Средний P_2^2	Лютетский P_2 1		$-40,4\pm0,2$	
	Пеол		Нижний P_2^{-1}	Ипрский P_2 і		- 48,6±0,2 -
	Па	Палеоцен	Верхний Р ₁ ²	Танетский Р ₁ t		$-55,8\pm0,2$
				Зеландский P ₁ sl	- 59 -	$-58,7\pm0,2$
	522	₽ _i	Нижний 🗜 1	Датский Р _і d	C.E.	- 61,7±0,2 -
				Маастрихтский К ₂ т		- 65,5±0,3 -
		D		Кампанский К ₂ km (К ₂ cp)		-70.1 ± 0.6
				Сантонский K ₂ st		- 83,5±0,7 -
Мезозойская MZ Меловая К	Верх	ний К ₂	Коньякский К ₂ k (К ₂ cn)		- 85,8±0,7 -	
			Туронский K₂t	- 89 -	- 89,3±1,0 -	
	19		Сеноманский К ₂ s (К ₂ ст)		- 93,5±0,8 -	
			Альбский K _i al	- 97 -	- 99,6±0,9 -	
			Аптский K ₁ a		-112,0±1,0-	
			Барремский K ₁ br		$-125,0\pm1,0$	
		ниж Ниж	ний К	Готеривский K _I g (K _I h)		$-130,0\pm1,5$
				Валанжинский К, v	(105)	$-136,4\pm2,0$
				Берриасский К,b	8 10 1	-140,2±3,0- -145,5±4,0-

Продолжение приложения 4

Общая стратиграфическая шкала фанерозоя (продолжение)

Мезозойская MZ в в в т НОпская Л	Юрская Ј в в	Отделы и подотделы ${\sf Bepxhu\"u}\ {\sf J_3}$ ${\sf Средни\"u}\ {\sf J_2}$	Ярус Титонский J_3 tt Кимериджский J_3 km Оксфордский J_3 о Келловейский J_2 k (J_2 c)	154 -	2 -150,8±4,0- -155,7±4,0-						
Мезозойская MZ Т Юнская			Кимериджский J_3 km Оксфордский J_3 о Келловейский J_2 k (J_2 с)	154 -							
Мезозойская MZ		Средний J₂	Келловейский J_2 k (J_2 c)	+ 157 ⊣							
Мезозойская	_		Батский J_2 bt Байосский J_2 b Ааленский J_2 а	160 - 170 - 174 -	-161,2±4,0- -164,7±4,0- -167,7±3,5- -171,6±3,0-						
⊢		Нижний J _ι	Тоарский J_1 t Плинсбахский J_1 р Синемюрский J_1 s Геттангский J_1 g (J_1 h)	184 - 192 - 197 -	-175,6±2,0- -183,0±1,5- -189,6±1,5- -196,5±1,0- -199,6±0,6-						
риасова	яТ	Верхний T_3	P этский T_3 г H орийский T_3 п K арнийский T_3 к		-203,6±1,5- -216,5±2,0-						
1 1.5	иасова	Триасовая	Средний Т₂	Ладинский T_2 I Анизийский T_2 а	(241,5)	$-228,0\pm2,0$					
	Ē.	$egin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		246 -	$-245,0\pm1,5$ $-249,7\pm0,7$						
		Татарский Р ₃	Вятский P_3 v Северодвинский P_3 s		-251,0±0,4-						
1 1	ойская РZ Пермская Р	$ $ Биармийский P_2	l l	l	l l		l l	Биармийский P_2	Уржумский Р ₂ иг Казанский Р₂kz	265,8	265,8
2							Уфимский P ₁ u	-270,6 -	+ 270±0,7 -		
йская			Кунгурский Р ₁ k Артинский Р ₁ аг Сакмарский Р ₁ s Ассельский Р ₁ а	9. 6	-275,6±0,7- -284,4±0,7- -294,6±0,8-						
алеоз	O	Верхний С3	Гжельский С ₃ g	(295±5)	-299,0±0,8- - 303,9±,9-						
	Л		Касимовская С ₃ k Московский С₂т	(300) -	-306,5±1,0- -311,7±1,1-						
П	ноуг	Нижний C ₁	Башкирский C_2 b Серпуховский C_1 s Визейский C_1 v Турнейский C_1 t	342 -	-318,1±1,3- -326,4±1,6- -345,3±2,1-						

Продолжение приложения 4

Общая стратиграфическая шкала фанерозоя (окончание)

Дама Верхний D₃ Фаменский D₃fm (370) - 374 Франский D₃f 382 - 385 Живетский D₂ef 392 - 397, Эмсский D₁р 409 - 407, Пражский D₁р 412 - 411, Лохковский D₁р 418 ± 2 - 416, Пржидольский S₂ld 424 - 422, Нижний S₁ Венлокский S₁v (S₁w) 428 - 428, Нижний O₃ Ашгиллский O₃aš 443 ± 2 - 443, Карадокский O₂k 449 458 - 46 Карадокский O₁a 473 - 46 Аренигский O₁a 490 ± 2 - 46 Карадокский €₃ak 490 ± 2 - 46 Средний €₃ Аксайский €₃ak Сакский €₃as 500 501, Майский €₂m 500 501, Амгинский €₂am 500 501,	Возраст, млн лет		
Дамина Верхний D₃ Франский D₃ (370) + 374 Киветский D₂²У (D₂g) 382 - 385 Эйфельский D₂ef 391, Эмсский D₁e 409 + 407, Нижний D₁ Пражский D₁D 412 + 411, Лохковский D₁l 418±2 + 416, Пржидольский S₂D 418±2 + 416, Лудловский S₂ld 424 + 422, Нижний S₁ Венлокский S₁V (S₁W) Лландоверийский S₁l 428 + 428 Карадокский O₂k 443 + 2 Карадокский O₂k 458 + 46 Карадокский O₁a 473 + 46 Аренигский O₁a 473 + 46 Аренигский O₁a 490±2 + 43 Карадокский €₃ak Сакский €₃ak Сакский €₃a Сакский €₃as Аюсокканский €₂m 500 501, Амгинский €₂m 509 513,	2		
Верхний О₂ Оранский О₂ № (О₂ g) 382 - 385 Зэффельский О₂ еб 391, Эмский О₁ е 409 - 407, Пражский О₁ р 412 - 411, Лохковский О₁ р 418±2 - 416, Пржидольский S₂ р 418±2 - 416, Пржидольский S₂ р 419 - 418, Пржидольский S₂ р 424 - 422, Пржидольский S₂ р 424 - 422, Пржидольский S₂ р 428 - 428, Пржидольский S₁ р 428 - 428, Нижний О₃ Верхний О₁ Верхний О₁ Верхний О₁ 449, Премадокский О₁ р 473 - 46, Аренигский О₁а 490±2 - 46, Верхний €₃ Верхний Ерги Верхний Верх	4 + 0 C		
Даменский Доре 391, 391, 397, 409 - 397, 409 - 407, 412 - 411, 7000 - 400, 700	120000 25 0.0		
Верхний S₂ Пржидольский S₂р 419 418, 424 422, 428, 428 428 428 443±2 443, 449 458 449 458 449 458 449 458 458 469 473 460 473 460 46			
Верхний S₂ Пржидольский S₂р 419 418, 424 422, 428, 428 428 428 443±2 443, 449 458 449 458 449 458 449 458 458 469 473 460 473 460 46	5		
Верхний S₂ Пржидольский S₂р 419 418, 424 422, 428, 428 428 428 443±2 443, 449 458 449 458 449 458 449 458 458 469 473 460 473 460 46	5 2000 0		
Верхний S₂ Пржидольский S₂р 419 418, 424 422, Инжний S₁ Венлокский S₁v (S₁w) 428 428, 428, 428, 428, 428, 428, 428,			
Верхний S₂ Лудловский S₂Id 419 —418, 424 —422, 428 —			
Верхний О ₃ Верхний О ₂ Верхний О ₂ Верхний О ₂ Планвирнский О ₂ Ашгиллский О ₃ аš Карадокский О ₂ к 449 458 - 46 Аренигский О ₁ а Премадокский О ₁ t Тремадокский О ₁ t Верхний € ₃ Верхний € ₃ Верхний € ₃ Сакский € ₃ as Аюсокканский € ₂ am Тойонский € ₁ tn Вашгиллский О ₃ аš 443±2-443, 449 449 458 - 46 469 473 - 46 Аренигский О ₁ t Ватырбайский € ₃ bt Аксайский € ₃ as 500 501, Тойонский € ₂ am 509 513,	10 10 0 10		
Верхний О ₃ Верхний О ₂ Верхний О ₂ Верхний О ₂ Планвирнский О ₂ Ашгиллский О ₃ аš Карадокский О ₂ к 449 458 - 46 Аренигский О ₁ а Премадокский О ₁ t Тремадокский О ₁ t Верхний € ₃ Верхний € ₃ Верхний € ₃ Сакский € ₃ as Аюсокканский € ₂ am Тойонский € ₁ tn Вашгиллский О ₃ аš 443±2-443, 449 449 458 - 46 469 473 - 46 Аренигский О ₁ t Ватырбайский € ₃ bt Аксайский € ₃ as 500 501, Тойонский € ₂ am 509 513,			
Верхний О ₃ Верхний О ₂ Верхний О ₂ Верхний О ₂ Планвирнский О ₂ Ашгиллский О ₃ аš Карадокский О ₂ к 449 458 - 46 Аренигский О ₁ а Премадокский О ₁ t Тремадокский О ₁ t Верхний € ₃ Верхний € ₃ Верхний € ₃ Сакский € ₃ as Аюсокканский € ₂ am Тойонский € ₁ tn Вашгиллский О ₃ аš 443±2-443, 449 449 458 - 46 469 473 - 46 Аренигский О ₁ t Ватырбайский € ₃ bt Аксайский € ₃ as 500 501, Тойонский € ₂ am 509 513,			
Верхний О ₃ Верхний О ₂ Средний О ₂ Нижний О ₁ Верхний О ₂ Планвирнский О ₂ Аренигский О ₁ Тремадокский О ₁ t Батырбайский € ₃ ak Сакский € ₃ s Аюсокканский € ₃ as Средний € ₂ Майский € ₂ am Средний € ₂ Тойонский € ₁ tn Батырбайский € ₂ am Батырбайский € ₂ am Батырбайский € ₃ as	March 1960		
Вородой образований образовании о	5,5 <u>∓</u> 1,5−		
Верхний €₃ Верхний €₃ Верхний €₃ Аксайский €₃ак Сакский €₃ак Сакский €₃а Аюсокканский €₃ав Аюсокканский €₃ав Средний €₂ Тойонский €₂т Тойонский €₁tn Тойонский €₁tn	460,9 -		
Верхний €₃ Верхний €₃ Верхний €₃ Аксайский €₃ак Сакский €₃ак Сакский €₃а Аюсокканский €₃ав Аюсокканский €₂т Амгинский €₂т Тойонский €₁tn Тойонский €₁tn	468,1 -		
Верхний €₃ Верхний €₃ Верхний €₃ Аксайский €₃ак Сакский €₃ак Сакский €₃а Аюсокканский €₃ав Аюсокканский €₂т Амгинский €₂т Тойонский €₁tn Тойонский €₁tn	100,1		
Верхний €₃ Верхний €₃ Верхний €₃ Аксайский €₃ак Сакский €₃ак Сакский €₃а Аюсокканский €₃ав Аюсокканский €₂т Амгинский €₂т Тойонский €₁tn Тойонский €₁tn	478,6 -		
Верхний $€_3$ Верхний $€_3$ Аксайский $€_3$ ак Сакский $€_3$ ак Аюсокканский $€_3$ аѕ Аюсокканский $€_2$ ап Тойонский $€_2$ ап Тойонский $€_1$ tn Батыроайский $€_3$ от Аксайский $€_3$ ак Сакский $€_2$ ап Тойонский $€_1$ tn Батыроайский $€_3$ ак Омайский $€_2$ ап Тойонский $€_1$ tn	488,0 -		
Ф Верхний €3 Сакский €3s Аюсокканский €3as 500 Майский €2m Амгинский €3am Амгинский €1tn 509	400,0		
Сакский €3s Аюсокканский €3as Средний €2 Майский €2m Амгинский €3am Тойонский €1tn 509 513	2 22 2		
Средний €₂ Майский €₂m 500 501, Амгинский €₂am 509 513,			
Средний €2	1,0±2,0		
Тойонский € ₂ am Тойонский € ₁ tn Ботомомуй € h	1,0±2,0		
Тойонский € ₁ tn	3,0±2,0		
Foreway & Ch	ο,∪ <u>⊤</u> ∡,∪		
Нимий С			
Нижний € ₁ Атдабанский € ₁ at (526)			
Томмотский € ₁ t (529) + 535±1 542.	9 0 4 1 0-		

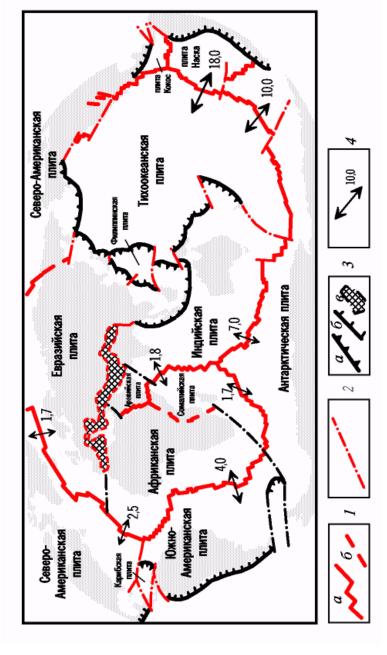
Общая стратиграфическая шкала докембрия (возраст, млн лет)

Акротема	Эонотема		Эратема	Система
	Фанерозойская		Палеозойская	Кембрийская
	a ²		535±1	Верхний отдел V ₂ 570-555 Нижний отдел V ₁
Протерозойская РК	В В В В В В В В В В В В В В В В В В В	л. Рифейская RF	600 Верхнерифейская RF ₃ (Каратавий) 1030 Среднерифейская RF ₂ (Юрматиний) 1350 Нижнерифейская RF ₁ (Бурзяний) Верхнекарельская KR ₂ 1900	
2500			Нижнекарельская KR₁	
Архей ская АВ	Верхнеархейская AR ₂ (Лопийская LP) ———————————————————————————————————		Верхнелопийская LP ₃ — 2800 Среднелопийская LP ₂ — 3000 Нижнелопииская LP ₁	di e

Эра	Период
	Четвертичный
Кайнозойская (KZ)	Неогеновый
(RZ)	Палеогеновый
	Меловой
Мезозойская (MZ)	Юрский
	Триасовый
	Пермский
Палеозойская (PZ)	Карбоновый
	Девонский
	Силурийский
	Ордовикский
	Кембрийский

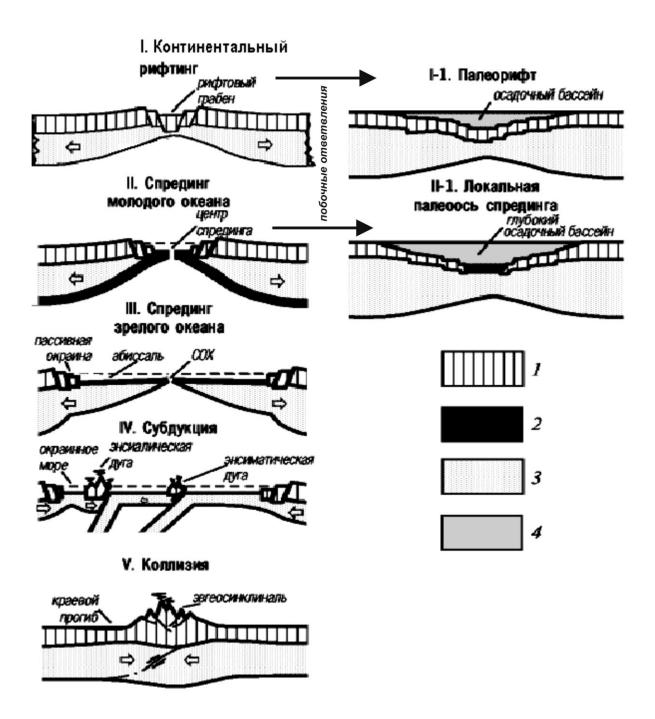
Цветовые обозначения основных стратиграфических подразделений

ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ ЗЕМЛИ



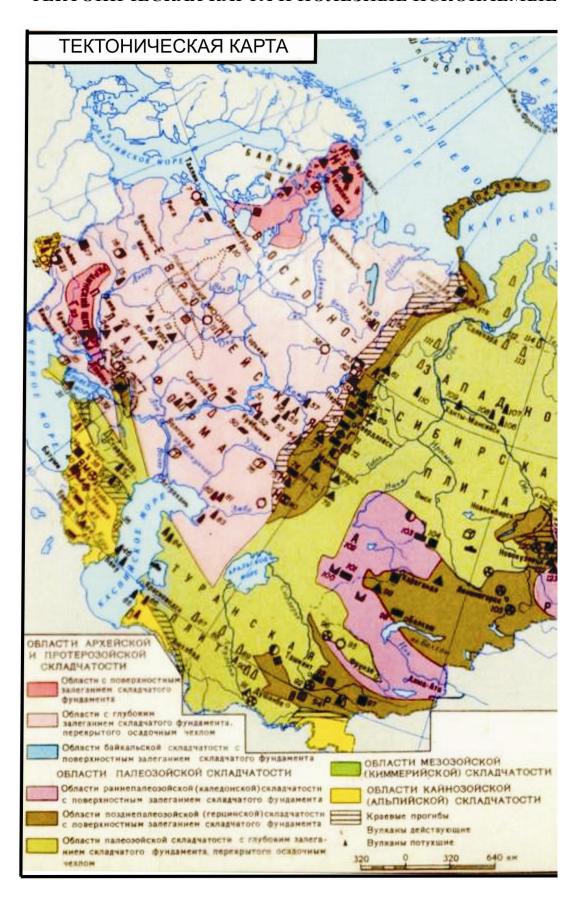
трансформные границы; 3 – конвергентные (a – пассивные, δ – активные континентальные окраины, в – Условные обозначения: I – дивергентные границы (a – COX, δ – континентальные рифты); 2 – коллизионные); 4 - направления и скорости движения плит (см/год)

ЦИКЛ УИЛСОНА И ЕГО ПОБОЧНЫЕ ОТВЕТВЛЕНИЯ

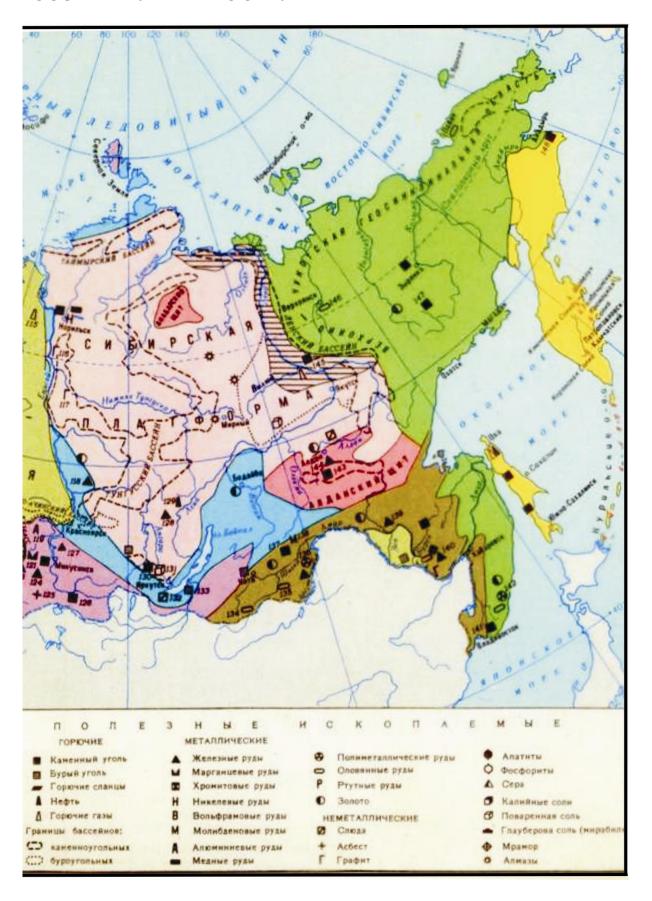


Условные обозначения: 1 – континентальная кора; 2 – океаническая кора; 3 – литосфера; 4 – осадки

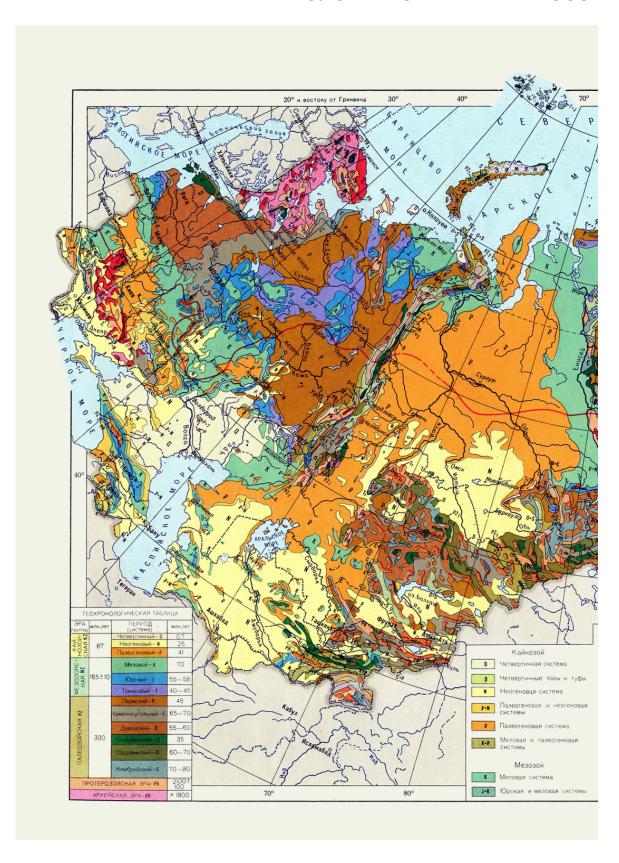
ТЕКТОНИЧЕСКАЯ КАРТА И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ



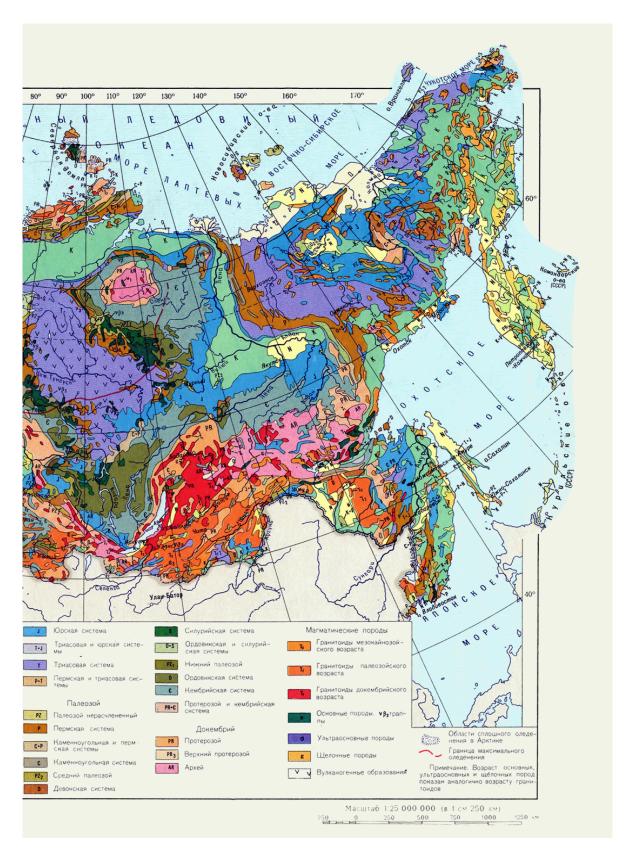
РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ



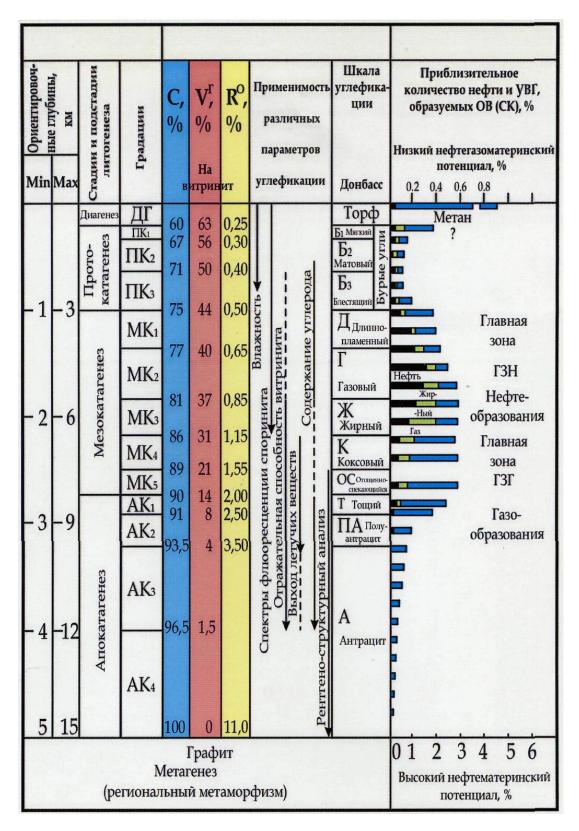
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РОССИИ



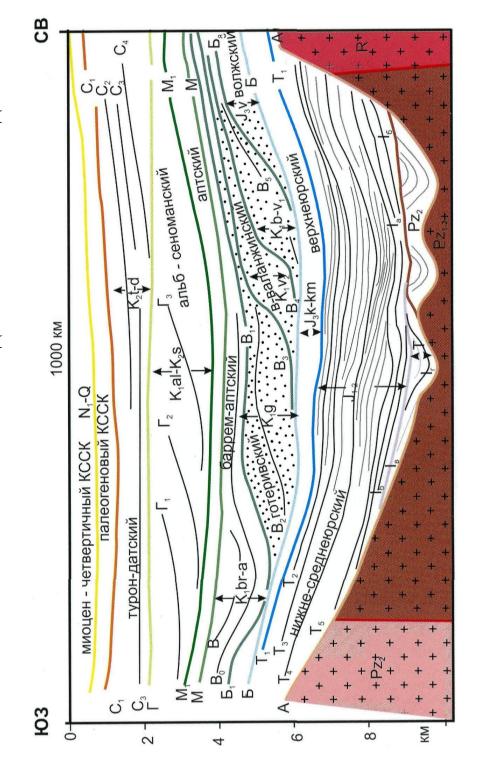
И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ



ШКАЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТОЛЩ

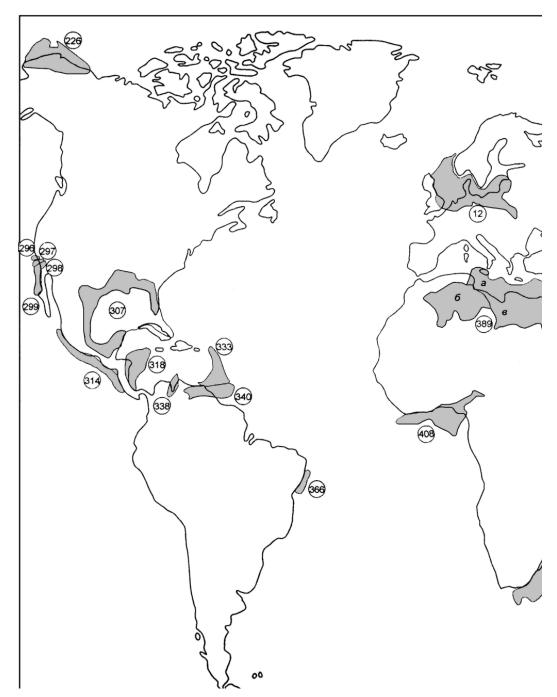


СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ



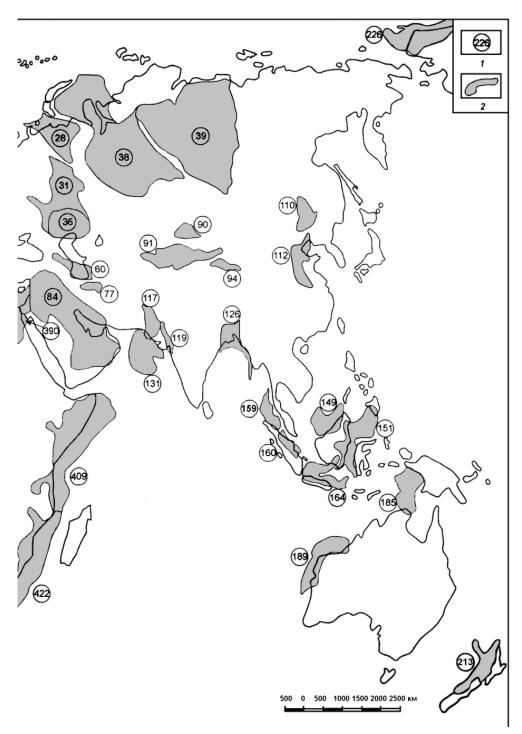
Условные обозначения: І – консолидированная кора разного возраста; 2 – границы квазисинхронных сейсмостратиграфических комплексов (КССК); 3 – поверхность консолидированной коры; 4 – отражающие горизонты и их индексы (по Н. Я. Кунину с соавторами, 1995, с изменениями); Шлезингер, 2004

СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ НАИБОЛЕЕ БОГАТЫХ



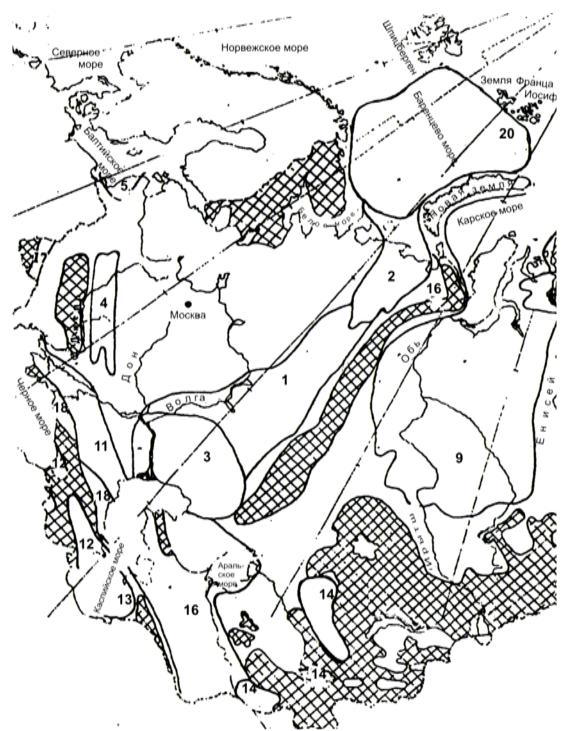
12 — Центрально-Европейский НГМБ, 28 — Тимано-Печорский, 31 — Волго-Уральский НГБ, 36 — Прикаспийский НГБ, 38 — Западно-Сибирский НГМБ, 39 — Лено-Тунгусский НГМБ, 60 — Южно-Каспийский НГБ, 77 — Центрально-Иранский НГБ, 84 — Персидского залива НГМБ, 90 — Джунгарский НГБ, 91 — Таримский НГБ, 94 — Цайдамский НГБ, 110 — Сунляо НГБ, 112 — Северо-Китайский НГБ, 117 — Нижне-индский НГБ, 119 — Камбейский НГБ, 126 — Бенгальский НГБ, 131 — Индо-Аравийский ВНГБ, 149 — Саравакский НГБ, 151 — Восточно-Калимантанский НГБ, 159 — Северо-Суматрийский (Иравадийско-Андаманский), 160 — Центрально-Суматрийский, 164 — Северо-Яванский НГБ, 185 — Арафурский НГБ, 189 — Карнарвон НГБ,

НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ МИРА



213 — Таранаки НГБ, 226 — Арктического склона Аляски НГБ, 296 — Санта-Мария НГБ, 297 — Вентура-Санта-Барбара НГБ, 298 — Лос-Анджелес НГБ, 299 — Прикалифорнийский НГБ, 307 — Мексиканского залива НГМБ, 314 — Сан-Хосе ВНГБ, 318 — Никарагуанский ВНГБ, 333 — Барбадос-Тобаго НГБ, 338 — Маракаибский НГБ, 340 — Оринокский НГБ, 366 — Сержипи-Алагоас НГБ, 389 — Сахаро-Восточно-Средиземноморский НГМБ, 390 — Суэцкого залива НГБ, 408 — Гвинейского залива НГБ, 409 — Восточно-Африканский НГБ, 422 — Мозамбикский НГБ

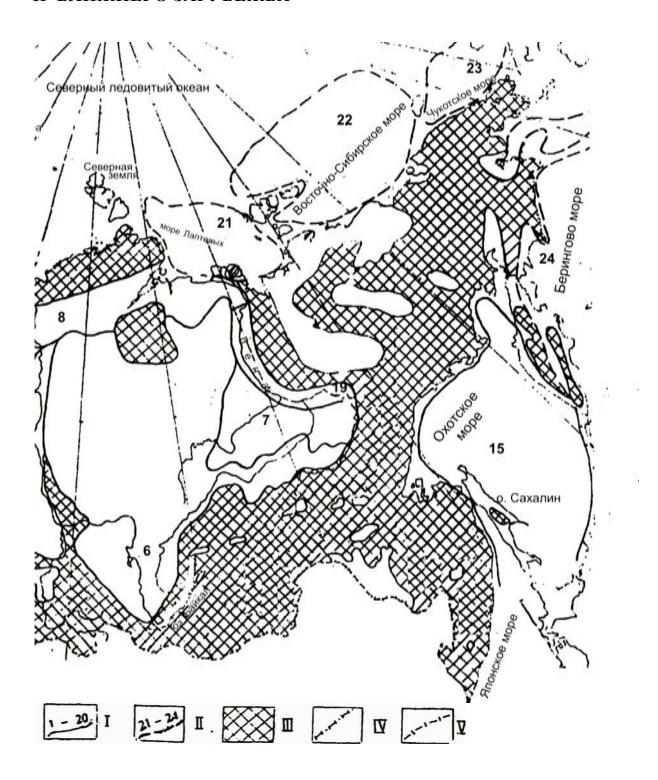
НЕФТЕГАЗОНОСНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РОССИИ



Условные обозначения: границы: 1 — нефтегазоносных провинций; 2 — перспективных нефтегазоносных провинций; 3 — территории выходов на поверхность и неглубокого залегания кристаллических и метаморфических пород.

Нефтегазоносные провинции: 1 — Волго-Уральская, 2 — Тимано-Печорская, 3 — Прикаспийская, 4 — Днепровско-Припятская, 5 — Балтийская, 6 — Лено-Тунгусская, 7 — Лено-Вилюйская, 8 — Енисейско-Анабарская, 9 — Западно-Сибирская, 10 — Туранская,

И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ



11 — Предкавказско-Крымская (Скифская), 12 — Предкавказская, 13 — Предкарпатская,14 — Предуральская, 15 — Предверхоянская, 16 — Закавказская, 17 — Западно-Туркменская, 18 — Тянь-Шань-Памирская, 19 — Дальневосточная, 20 — Баренцевоморская, 25 — Притихоокеанская.

Перспективные нефтегазоносные провинции: 21 — Северо-Карская, 22 — Лаптевская, 23 — Восточно-Арктическая, 24 — Южно-Чукотская.

ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО И ТОМСКОГО ПРИОБЬЯ (Глебов, 2006) ФОРМАЦИОННО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ

HOCHPIE HOCHPIE HEGTELA3O-												И	TYPOH-CEHOMAHCKINI				инхэнамонаэ-тпа			
HEQTERA30-			2/1/	150	565-	5750											9°1MUŞ	\$11.4MII	TIKER	ÀA,
м ,АНИЗҮПТ		000 000 000 000 000 000 000 000 000 00							009	# # 000 000 000 000 000 000 000 000 000				130 1400 1400 150 150 150 150 150 150 150 150 150 1			3132 313-951			
-ОМОЙЭЭ RNДАМЧОФ						BEPIHAS		СРЕДНЯЯ			BEP31184		CPEZHRN		HACK HIRS	6. 6. 6. 6.	HIS HER	8EP XM89	CPEQHRR	
2	KOMUJEKC CENCMO-		никовоомиян			нузремен			Оправнитический				VPCKNN	нон		Ī				
хих	CENCMNYECK CENCMNYECK CENCMNYECK	ø				6	e,		C	•	¥	ن	S		ت	L	M,	ž	2	
СВИТА	RАЖЭНИТ√ДИАП ОПН		MA		нску	OPIDBOILE			H	азачап вахо оципат		CAUBITO	HAYDBOKAN CEN						Ė	
	HLO	H	_	TAPTACCIAR	#080# B080## B080##	ATTIBUS CKAS								(VIDBOCI	1499			поестия		8710 10707
	весютенскея	L			\$971,000.018			5		1000	_	CRABFO. PODCKAS	манэ	BOTAIN	5			_		
	HLO KYNIPICOBCKYZ			0.00	<u> </u>		гавдинская		пюлинворския		PANNUAN	ганызанская	25	400047000		оснедовския	RANDIAMS RANDHIND		RAND	
	2007 - 100 ACCOMPANION OF THE PARION		_		8770		TAB		non.		Ħ.	ž				ROOM	RANDT ABY	-HAMILITHAX	популип	CKAS
	RAXX303HD393 OTH			TOPTACCIAS HOBOMETANDOSCIAS ATRESCIAS								6EPE30BCH48			номожения			AMBRICKAS		
	RANDBORO9Ф OTH			TAKE	новон	4								ü			RANDTARK	CHICKAR CHICKAR	BANO	a
1	LOPN3OH	(J.S.)		XXPABCION	HOBOMA- KAMMOBCHINE	ATREMENSE	тавдинскии		JAO JANKHBOP- CKIMI		талициян	CANEGR- COM	CIABTOPOD- CHMM	нскин	IOT AMN	юзнейов- ская	уватский	MATERIAL MATERIAL	Baey, no B.	AJNEMICKER
	тноєичолдан							Берентинский				покурскии								
OYARARON		F	_	th _t d	۵	4	o _c q d,q	7	ď.	.	P,42	K,m H	B H	K,s B	8 J H	κţ	⊕ J y	A C B	K.a C	I
DYGR (xea)				ATTORN P	Booten-com		PNASONCOME P	NOTETCHBBI	_	-	датозиі Р	MAACTPOOT K	хампан К	сантон	× 40	TAPOH A	нтиона)	× 70°8	¥ Er	
OTMEN (anoxa)		वेद ् क					4	THE RESERVE THE PERSON NAMED IN COLUMN TWO IS NOT THE PERSON NAMED IN COLUMN TWO IS NAMED IN COLUMN TWO I				BEPXHNŇ, K ₂				THE RES				
CNCTEMA (nepnog)		-ETB.0	35						у , каопам											
	AMBITAGE (EGE)		KANHO3OÑCKAR, KZ							500500016	ZKAN, MZ									
	BO3PAC		_	9		400	5	- mrstrik	u c	5		3 8) Y	2	80,5-	.c. 6			9	

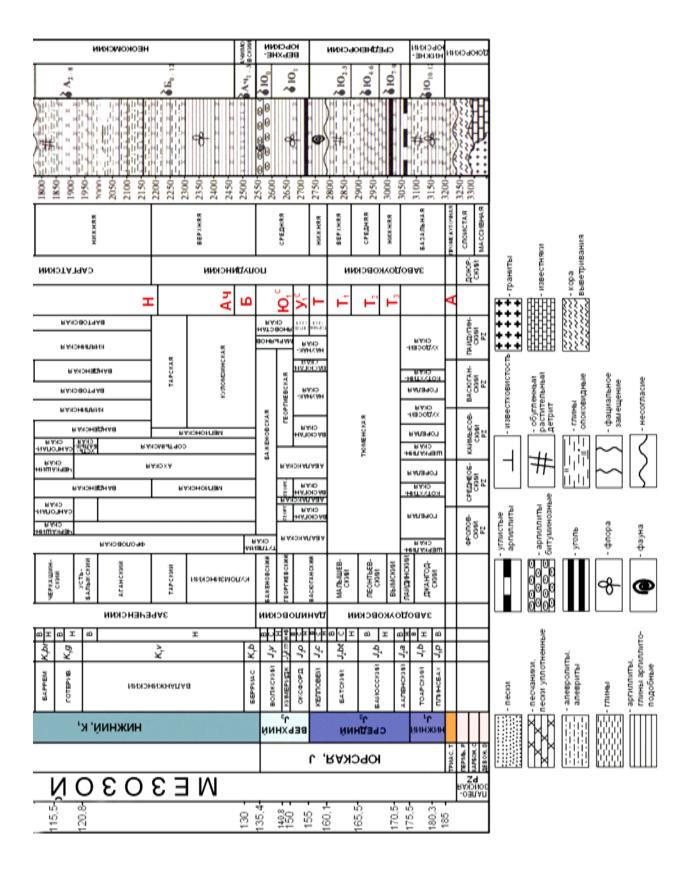


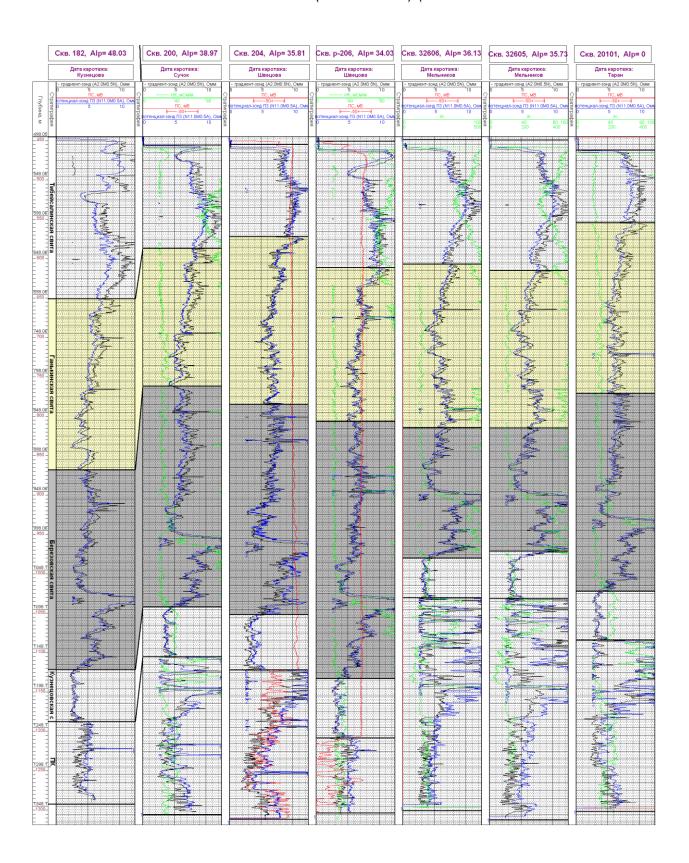
СХЕМА СТАДИЙНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ

Этап	Стадия	Объект	Основные задачи
нальный	Прогноз нефтегазо- носности	Осадочные бассейны и их части, синеклизы, антеклизы, предгорные прогибы, мегасинклинории, мегаантиклинории	1. Выявление литолого-стратиграфических мегакомплексов, структурных этажей, ярусов и структурнофациальных зон, определение характера основных этапов геотектонического развития, тектоническое районирование 2. Выделение нефтегазоперспективных мегакомплексов и зон возможного нефтегазонакопления, нефтегазогеологическое районирование 3. Качественная и количественная оценка перспектив нефтегазоносности 4. Выбор основных направлений и первоочередных объектов дальнейших исследований
Регио	Оценка зон нефтегазо- накопления	Нефтегазоперспективные зоны и зоны нефтегазонакопления, своды, впадины, межгорные впадины, авлакогены	1. Выявление субрегиональных и зональных структурных соотношений между различными нефтегазоперспективными и литолого-стратиграфическими комплексами, основных закономерностей распространения свойств пород коллекторов и флюидоупоров и изменения их свойств 2. Уточнение нефтегазогеологического районирования. 3. Количественная оценка перспектив нефтегазоносности 4. Выбор районов и установление очередности проведения на них поисковых работ
	Выявление объектов по- искового бу- рения	Районы с установленной или возможной нефтегазоносностью, валы зоны разломных замещений, выклинивания, рифогенные образования, соляные купола, палеоструктуры	1. Выявление условий залегания и других геолого- геофизических свойств нефтегазоносных и нефтега- зоперспективных комплексов 2. Выявление перспективных ловушек 3. Количественная оценка прогнозных локализован- ных ресурсов 4. Выбор объектов для детализационных работ
оценочный	Подготовка объектов по- искового бу- рения	Выявление ловушки, локальные поднятия, соляные купола, районы замещений и выклинивания коллекторов, отдельных рифов	Детализация выявленных перспективных ловушек, позволяющая прогнозировать пространственное положение залежей Количественная оценка перспективных ресурсов на объектах, подготовленных к поисковому бурению Выбор объектов и определение очередности их ввода в поисковое бурение
Поисково-с	Поиск и оценка месторождений (залежей)	Подготовленные ловушки, открытые месторождения (залежи), геофизические аномалии (АТЗ)	1. Выявление в разрезе нефтегазоносных и перспективных горизонтов коллекторов и покрышек и определение их геолого-геофизических свойств (параметров) 2. Выделение, опробование и описание нефтегазоперспективных пластов и горизонтов, получение промышленных притоков нефти и газа и установление свойств флюидов инфильтрационно-емкостных характеристик 3. Открытие месторождения и постановка запасов на Государственный баланс 4. Выбор объектов для проведения оценочных работ 5. Установление основных характеристик месторождений (залежей) 6. Оценка запасов месторождений (залежей) 7. Выбор объектов работы
Разведочный	Разведка и пробная экс- плуатация	Промышленные месторождения (залежи). Изучение продуктивных горизонтов или их ассоциаций (залежи пластовые массивные, литологически, стратиграфически, тектонически экранированные)	 Уточнение геологического строения и запасов за- лежей Пробная эксплуатация для получения данных и параметров для составления технологической схемы разработки месторождений Перевод запасов категории C₂ в категорию C₁

РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ

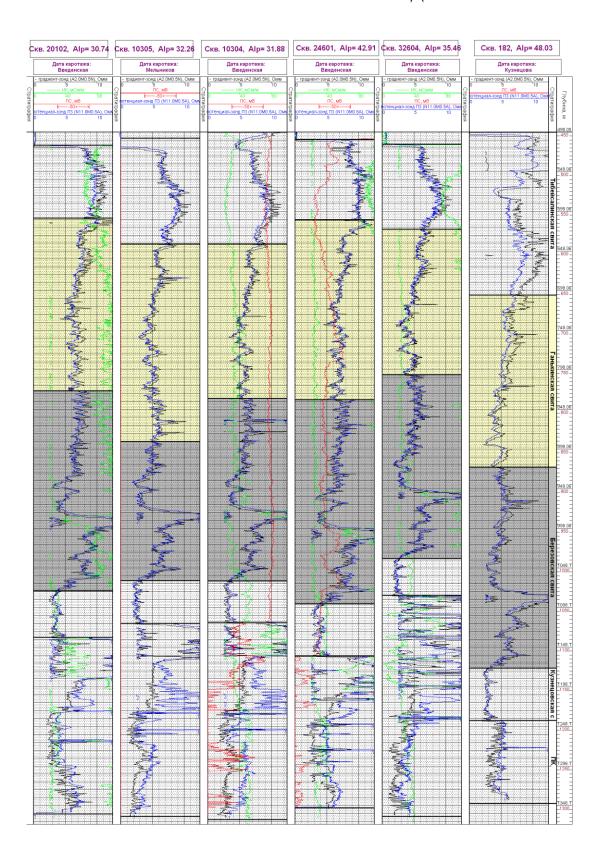
Комплекс ГРР	Результат
 Дешифрирование материалов аэро-, фото- и космических съемок, геологическая, гидрогеологическая, геоморфологическая, геохимическая мелкомасштабные съемки Аэромагнитная, гравиметрическая съемки масштабов 1:200000, 1:50000 и электроразведка Сейсморазведочные работы по системе опорных профилей Бурение опорных и параметрических скважин на опорных профилях в различных структурных фациальных зонах Обобщение и анализ геолого-геофизической информации, результаты бурения скважин 	Прогнозные ресурсы
Типовой комплекс работ стадии включает все виды работ и методы исследований, перечисленные выше, но на более плотной системе наблюдения, с укрупнением масштабов исследований до 1:100000- 1:25000	Прогнозные ресурсы Д ₁ , частично Д ₂ (по классификации 2005 г ресурсы Д ₂ и частично Д ₃)
Дешифрирование материалов аэро-, фото- и космических съемок локального и детального уровней генерализации Структурно-геологическая (структурно-геоморфологическая) съемка Правиразведка, магниторазведка, электроразведка Сейсморазведка по системе взаимоувязки профилей Бурение структурных скважин Специальные работы и исследования по прогнозу геологического разреза и прямые поиски Высокоточная гравиразведка и детальная сейсморазведка Детальная сейсморазведка 2D Бурение структурных скважин	Прогнозные локализованные ресурсы Д _{1л} (по классификации 2005 г. ресурсы Д ₁) Перспективные ресурсы С ₃ (по классификации 2005 г. ресурсы Д ₁)
 Бурение поисково-оценочных скважин Детальная сейсморазведка 2D и вертикальное сейсмопрофилирование (ВСП) в поисково-оценочных скважинах Специальные работы и исследования по изучению геологического разреза и положения контуров залежей и элементов ограничения залежи 	Предварительно оцененные запасы C_2 и частично разведанные запасы C_1 (по классификации 2001 и 2005 гг.)
Бурение разведочных скважин, в ряде случаев опережающих эксплуатационных скважин Переинтерпретация геолого-геофизических материалов, с учетом данных по пробуренным скважинам Проведение детализационной сейсморазведки 3D на площади месторождения и ВСП в скважинах Пробная эксплуатация продуктивных скважин	Разведанные запасы C_1 и частично предварительно оцененные запасы C_2 (по классификации 2001 и 2005 гг.)

КОРРЕЛЯЦИЯ МЕТОДОВ ГИС ПО ПРОФИЛЮ



Приложение 15

СКВАЖИН ЯМБУРГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Алексеев Валерий Порфирьевич

Должность: Заведующий кафедрой, профессор. **Ученая степень:** Доктор геолого-минералогических наук.

Заслуженный геолог Российской Федерации.

Основные научные интересы сосредоточены на создании основ нелинейной седиментологии (изучение самоорганизации, автомодельности и эквифинальности в процессах осадконакопления). Ведутся комплексные литологические работы на разных территориях Западно-Сибирского осадочного мегабассейна.

Автор и соавтор 320 научных и учебнометодических работ, в том числе 12 монографий и учебных пособий.

Амон Эдуард Оттович

Должность: Профессор.

Ученая степень: Доктор геолого-минералогических наук.

Главный научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН. Специализация в палеонтологии — морские микрофоссилии. Автор и соавтор более 300 опубликованных научных и учебно-методических работ. Член Всероссийского палеонтологического общества и Международной ассоциации палеонтологов; председатель Уральской региональной межведомственной стратиграфической комиссии МСК РФ, руководитель отдела радиолярий Комиссии по микропалеонтологии при РАН.





Ворожев Евгений Сергеевич

Должность: Профессор.

Ученая степень: Кандидат геолого-минералогических наук.

Консультант Западно-Сибирского научно-исследовательского института геологии и геофизики. Специалист в области нефтяной геологии.

В соавторстве с коллегами имеет 15 научных статей.

Государственные и ведомственные награды и звания: медаль «Двадцать лет Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.», орден «Знак Почета», знак «Отличник разведки недр».

Маслов Андрей Викторович

Должность: Профессор.

Ученая степень: Доктор геолого-минералогических наук.

Член-корреспондент РАН, зав. лабораторией литологии Института геологии и геохимии УрО РАН, известный специалист в области литологии и геохимии осадочных образований, автор более 600 научных работ, в том числе ряда монографий и учебных пособий. Область научных интересов — комплексные исследования, направленные на восстановление истории седиментационных бассейнов и эволюции обстановок осадконакопления.





Мизенс Гунар Андреевич

Должность: Профессор.

Ученая степень: Доктор геолого-минералогических наук.

Основное место работы – Институт геологии и геохимии УрО РАН, главный научный сотрудник. Специалист в области литологии, региональной геологии. Основные научные труды посвящены осадочной петрографии, седиментологии, палеогеографии, палеотектонике, стратиграфии палеозойских образований Урала.

Автор и соавтор около 200 печатных работ, в том числе четырех монографий.

Первушин Александр Владимирович

Должность: Доцент.

Заместитель директора по геологии ООО «Газпром добыча Ноябрьск». Занимается поисковыми критериями залежей нефти и газа трещинных карбонатных коллекторов.

Автор и соавтор более 20 научных работ и про-изводственных отчетов.





Русский Владимир Изотович

Должность: Профессор.

Ученая степень: Доктор геолого-минералогических наук.

Основное направление научной деятельности – геология месторождений горючих ископаемых. Особенно детально изучались и продолжают изучаться: древние коры выветривания и торфяные месторождения Урала; угольные месторождения Урала и Северного Казахстана; коллекторы нефтяных месторождений Западно-Сибирского бассейна.

Автор и соавтор 130 научных и учебнометодических работ, в том числе 12 – вышедших отдельными изданиями.

Рыльков Сергей Александрович

Должность: Профессор.

Ученая степень: Кандидат геолого-минералогических наук.

Заслуженный геолог Российской Федерации.

Руководитель Регионального агентства по недропользованию по Уральскому федеральному округу. Специалист по вопросами оценки и подсчета прогнозных и перспективных ресурсов нефти и газа. Является соавтором ряда производственных и научных отчетов по данной теме. В 1996 году за многолетний и добросовестный труд награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством 2-й степени».

Автор более 25 печатных работ, опубликованных в российских сборниках и журналах.





Третьякова Любовь Ивановна

Должность: Доцент.

Ведущий геофизик ООО «Газпром добыча Ноябрьск» - дирекция по разведке и обустройству месторождений. После окончания СГИ в 1984-2001 гг. работала в ОАО «СГГ» РАО «Газпром» (г. Новый Уренгой). С 1991 г. – начальник тематической партии. С 1995 г. – начальник контрольно-интерпретационной экспедиции (контроль за разработкой северной группы месторождений «Уренгойгазпром»).

Автор 11 публикаций, более 15 отчетов с подсчетом запасов.

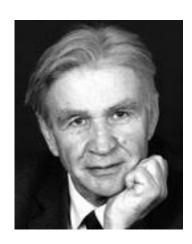
Черных Валерий Владимирович

Должность: Профессор.

Ученая степень: Доктор геолого-минералогических наук.

Заведующий лабораторией стратиграфии и палеонтологии Института геологии и геохимии УрО РАН. Основные научные интересы: общие вопросы биологии, эволюционная палеонтология, зональная биостратиграфия. В последние годы выполнены завершающие работы по конструированию зональной шкалы нижнего отдела пермской системы по результатам изучения уральских конодонтов. Автор пяти монографий и более 160 научных работ. Член редколлегии журнала "Литосфера".





Чувашов Борис Иванович

Должность: Профессор.

Ученая степень: Доктор геолого-минералогических наук.

Член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник лаборатории палеонтологии и стратиграфии Института геологии и геохимии УрО РАН.

Научные интересы: стратиграфия, палеонтология (фораминиферы, известковые водоросли), литология карбонатных пород, биогеография, палеотектоника палеозоя Западной Сибири, Урала, востока Русской платформы. Автор и соавтор более 350 работ, в числе которых 10 монографий. Более 50 работ издано и переведено на французский и английский языки.

Шардакова Галина Юрьевна

Должность: Доцент.

Ученая степень: Кандидат геолого-минералогических наук.

Ведущий научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН.

Основные научные интересы: петрология, геохимия, изотопный возраст и рудоносность магматических пород, связь гранитоидного магматизма с геодинамическими обстановками. Является автором и соавтором около 150 печатных работ, в том числе монографии.

Член Учёного совета ИГГ УрО РАН, секретарь Уральского петрографического комитета и Уральского отделения РМО; член редколлегий периодических изданий: "Ежегодник ИГГ УрО РАН", "Вестник Уральского отделения РМО".



РЕДАКТОРСКАЯ ГРУППА



Устьянцева Людмила Васильевна

Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации (1997).

Начальник редакционно-издательского отдела Уральского гос. горного университета. Бессменный редактор межвузовского сборника научных статей «Литология и геология горючих ископаемых» (до 2002 г. – «Геология угольных месторождений») и всех изданий, выпускаемых кафедрой.

Устьянцева Наталья Васильевна

Инженер кафедры ЛГГИ, аспирант заочного обучения. Тема кандидатской диссертации: «Мелкие фораминиферы кунгурского яруса пермской системы Западного склона Урала». Область научных интересов — палеонтология и стратиграфия. Автор и соавтор пяти научных публикаций.





Хасанова Ксения Альфитовна

Магистрант первого года обучения кафедры ЛГГИ Уральского государственного горного университета по специальности «Геология нефти и газа».

Область научных интересов: реконструкция условий осадконакопления на территории севера Западно-Сибирского осадочного бассейна Автор и соавтор трех научных публикаций.

Заявки на книгу направлять по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30 Уральский государственный горный университет Кафедра литологии и геологии горючих ископаемых e-mail: igg.lggi@ursmu.ru

Учебное издание

Авторский коллектив:

		1
	Д.ГМ.Н.	Валерий Порфирьевич Алексеев
	д.гм.н.	Эдуард Оттович Амон
	К.ГМ.Н.	Евгений Сергеевич Ворожев
члкорр. РАН,	д.гм.н.	Андрей Викторович Маслов
	д.гм.н.	Гунар Андреевич Мизенс
		Александр Владимирович Первушин
	д.гм.н.	Владимир Изотович Русский
	К.ГМ.Н.	Сергей Александрович Рыльков
		Любовь Ивановна Третьякова
	Д.ГМ.Н.	Валерий Владимирович Черных
члкорр. РАН,	Д.ГМ.Н.	Борис Иванович Чувашов
11	К.ГМ.Н.	Галина Юрьевна Шардакова

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЬ:

визитная карточка кафедры литологии и геологии горючих ископаемых

Учебное пособие

Под редакцией В.П. Алексеева

Редактор \mathcal{I} . B. Устьянцева Компьютерная верстка и макетирование K. A. Xасановой

Подписано в печать 01.03.2011 г. Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16. Печать на ризографе. Печ. л. 17,125. Уч.-изд. л. 17,0 Тираж 200 экз. Заказ №

Издательство УГГУ 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30 Уральский государственный горный университет Отпечатано с оригинал-макета в ООО «ИРА УТК» 620102, г. Екатеринбург, ул. Шаумяна, 83 Тел.: (343) 269-18-83

