

Ч. Э. Б. КОНИБИР

ПАЛЕОГЕОМОРФОЛОГИЯ
НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ
ПЕСЧАНЫХ ТЕЛ





МОСКВА

«НЕДРА»

1979

Developments in Petroleum Science, 4

GEOMORPHOLOGY OF OIL AND GAS FIELDS IN SANDSTONE BODIES

C. E. B. CONYBEARE

Australian National University, Canberra (A. C. T.)

ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY
Amsterdam — Oxford — New York 1976

Ч. Э. Б. КОНИБИР

ПАЛЕОГЕОМОРФОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ПЕСЧАНЫХ ТЕЛ

Перевод с английского и редакция
д-ра геол.-минер. наук М. М. Грачевского
и канд. геол.-минер. наук Е. В. Кучерука

МОСКВА «НЕДРА» 1979

Ч. Э. Б. Конибир. Палеогеоморфология нефтегазоносных песчаных тел. Пер. с англ. и ред. М. М. Грачевского и Е. В. Кучерука. М., «Недра», 1979, 256 с.

Книга является новейшей сводкой по весьма актуальной проблеме — палеогеоморфологии в области геологии нефти и газа. В ней впервые в мировой литературе обобщен и критически проанализирован огромный фактический материал по палеогеоморфологии и нефтегазоносности погребенных песчаных тел, рассеянный в многочисленных периодических и разовых изданиях, опубликованных в разных странах на многих языках. Дана подробная палеогеоморфологическая характеристика ископаемых песчаных тел (образований речных русел, дельтовых протоков, барьерных баров, регрессивных и трансгрессивных морских прибрежных накоплений, морских подводных каньонов, отложений приливных течений, аллювиальных конусов выноса и песчаных покровов, эоловых отложений и др.) и связанных с такими телами скоплений нефти и газа, обнаруженных в нефтегазоносных бассейнах Европы, Азии, Африки, Америки и Австралии. Охарактеризованы диагностические признаки песчаных тел каждого типа. Показана роль палеогеоморфологических факторов в аккумуляции нефти и газа. Приводимые конкретные примеры нефтегазоносных песчаных тел с их литолого-фациальными и электрокаротажными характеристиками позволяют использовать их в качестве моделей при поисках новых нефтяных и газовых месторождений, а также при интерпретации геолого-геофизических данных в процессе поисково-разведочных работ на нефть и газ.

Книга представляет интерес для широкого круга геологов-нефтяников, геофизиков, литологов, геоморфологов, географов и других специалистов смежных профессий.

Табл. 1, ил. 150, список лит. — 582 назв.

К 20804—550
043(01)—79 278—79. 1904050000

© Elsevier Scientific Publishing Company, 1976
© Перевод на русский язык, «Недра», 1979

ИБ № 3704

ЧАРЛЬЗ ЭРИК Б. КОНИБИР

ПАЛЕОГЕОМОРФОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ПЕСЧАНЫХ ТЕЛ

Перевод с английского и редакция д-ра геол.-минер. наук М. М. Грачевского и канд. геол.-минер. наук Е. В. Кучерука

Редактор издательства Г. П. Ванторина
Переплет художника В. Д. Петухова
Художественный редактор В. В. Шутько
Технические редакторы А. Е. Матвеева, Н. В. Жидкова
Корректор Л. В. Сметанина

Сдано в набор 26.06.79
Бумага № 1 Гарнитура литер.
Тираж 900 экз.

Подписано в печать 27.11.79
Печать высокая. Печ. л. 16,0
Заказ 381/7965—7

Формат 60×90^{1/16}
Уч.-изд. л. 17,24
Цена 2 р. 40 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва К-12, Третьяковский проезд, 1/19
Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

В последние годы, в связи с резким сокращением во многих нефтегазоносных районах мира количества неразведанных антиклинальных складок, перспективных на нефть и газ, резко возрос интерес к так называемым неструктурным и комбинированным ловушкам. Поиски таких ловушек и залежей в них связаны с большими затратами сил, времени и средств и основаны на иных методах и принципах, чем поиски залежей в антиклиналях.

Предлагаемая вниманию советского читателя монография Ч. Э. Б. Конибира «Палеогеоморфология нефтегазоносных песчаных тел» является новейшей сводкой по этой весьма актуальной проблеме, несомненно, наиболее фундаментальной и значительной среди зарубежных геологических изданий, посвященных залежам нефти и газа в песчаных телах, не связанных с антиклинальными складками. В ней дано классифицированное по морфологическим типам сравнительное палеогеоморфологическое описание ископаемых песчаных тел и приуроченных к таким телам скоплений нефти и газа в различных регионах мира. Профессор Ч. Э. Б. Конибир широко известен среди геологов-нефтяников. Он работал в Канаде, США, Африке и Австралии, а в настоящее время читает лекции на геологическом факультете Австралийского национального университета в Канберре. Им опубликован ряд оригинальных работ по различным вопросам геологии нефти и газа.

По своей композиции книга, помимо предисловия и введения, содержит девять глав. В каждой из них рассматривается палеогеоморфология и нефтегазоносность песчаных тел определенного морфогенетического типа. Описание каждого типа песчаных тел дается по единому плану. Вначале характеризуется геоморфология его современного аналога, затем приводится каротажная характеристика песчаного тела и освещаются особенности его уплотнения. Каждая глава завершается рассмотрением нефтяных и газовых залежей, связанных с песчаными телами соответствующего типа.

В конце книги помещен указатель встречающихся в ней терминов и географических. В предлагаемом переводном издании приведенные автором термины и географические названия сгруппированы в двух указателях, что привычнее для советских читателей.

Следует отметить, что зарубежные геологи-нефтяники обычно к стратиграфическим ловушкам относят как собственно стратиграфические, так и литологические, в том числе и палеогеоморфологические. Терминология ловушек оставлена при переводе без изменения, хотя в книге речь идет главным образом о палеогеоморфологических и комбинированных ловушках.

Для советского читателя выход в свет этой книги является весьма своевременным и актуальным. В нашей стране количество выявленных залежей нефти и газа, связанных с погребенными песчаными телами, которым посвящена работа Ч. Э. Б. Конибира, пока невелико, но перспективы их обнаружения имеются практически во всех нефтегазоносных районах. Помимо тех, которые упомянуты в книге, можно указать следующие.

Примерами продуктивных погребенных баров являются XVII нефтеносный пласт сахалинского месторождения Гиляко-Абунан (окобыкайская свита) и самый верхний газоносный пласт Уренгойского месторождения (сеноман). Примерами продуктивных песчаников подводных конусов выноса могут служить залежь месторождения Кенкияк в отложениях докунгура Прикаспийской впадины и «заливообразные» залежи Северокавказской моноклинали в породах майкопа. Регрессивные береговые песчаники в понимании Ч. Э. Б. Конибира продуктивны на Вой-Вожском месторождении (живетский пласт I в) в Коми АССР.

Изложенный в книге Ч. Э. Б. Конибира материал убеждает в необходимости учета палеогеоморфологического фактора при нефтегеологическом районировании, оценке прогнозных запасов региона и выборе основных направлений поисково-разведочных работ. В отличие от палеогеографического палеогеоморфологический метод во многом эффективно использует материалы полевой и промысловой геофизики в условиях недостающей литологической информации при выявлении погребенного рельефа на основе изучения морфологии напластований.

На региональном этапе исследований оценка общей палеогеоморфологической ситуации в новом регионе (при ограниченной информации) вполне возможна на основе построения региональных геолого-геофизических разрезов и морфогенетической интерпретации всех геофизических материалов с использованием современных и древних седиментологических моделей и их аналогов. Даже в изученном бурением районе материалы геофизики при их тщательном анализе совместно с данными бурения под углом зрения палеогеоморфологии позволяют получать очень ценные сведения о строении ловушки нефти и газа, не связанных с антиклиналями, и научно обоснованно проводить их поиски. Геофизические данные иногда могут оказаться более информативными, чем материалы бурения.

На наших глазах стремительно развивается чрезвычайно важное направление в использовании сейсмических данных при поисках залежей нефти и газа в ловушках, не связанных с антиклинальными складками, так называемая сейсмическая стратиграфия. Цель ее — выделение «сейсмических фаций», под которыми понимаются определенные комплексы осадочных пород, отличающиеся от соседних сейсмическими характеристиками (полярность отражений, интервальная скорость, постоянство отражений, их форма и др.) и увязка их с имеющимися материалами бурения. По существу — это использование сейсморазведки для изучения палеогеоморфологии разведываемого района, т. е. выяснения истории геологического развития, цикличности в строении осадочных толщ, определения литологии и ее изменения и установления других важных параметров разреза.

Данные Ч. Э. Б. Конибира показывают, что нельзя говорить о малой вероятности обнаружения крупных залежей углеводородов в ловушках, не связанных с антиклинальными складками в относительно хорошо изученных бассейнах различного типа. Конечно, число нефтяных и газовых месторождений, содержащихся в недрах любого нефтегазоносного бассейна, не бесконечно. Открытие каждого нового нефтяного или газового месторождения сокращает число оставшихся необнаруженными. По-видимому, нефтегазоносные бассейны конседиментационного образования, а также латерально-гетерогенные характеризуются наиболее благоприятными условиями для формирования залежей нефти и газа в ловушках, не связанных с антиклинальными складками. В целом количество обнаруживаемых таких залежей растет по мере увеличения степени изученности бассейнов. Да это и понятно, так как для поиска указанных залежей требуется значительно больший объем геологической информации, чем для открытия залежей, приуроченных к структурным ловушкам.

Для успешного обнаружения залежей, не связанных с антиклинальными складками, даже в старых хорошо изученных нефтегазоносных районах нужны новаторство и известный риск, разработка новых геологических концепций и идей, позволяющих выбрать новые направления поисковых работ.

Такие новые концепции и идеи должны базироваться на тщательном и кропотливом изучении и анализе особенностей геологического строения выявленных в бассейне нефтяных и газовых месторождений, что позволит установить более сложные их связи с геологическим строением и историей развития бассейна.

Геология нефти и газа не является точной наукой, поэтому разработка новых концепций и идей зависит главным образом от способности геолога-нефтяника синтезировать имеющуюся геолого-геофизическую информацию. В наши дни ЭВМ может обработать большой объем разнообразной информации, строить карты и профили и другие геологические документы, являющиеся важным и нужным вспомогательным материалом, но они не могут заменить геоло-

та в его интерпретационной работе. Более того, большой объем информации без четких идей его использования при поисках нефти и газа может даже завести в тупик.

У читателя может возникнуть вопрос: что же в этой работе Ч. Э. Б. Конибира наиболее ценно и для кого она предназначена? Книга представляет интерес для широкого круга геологов, в первую очередь, для геологов-нефтяников, палеогеоморфологов, литологов и геофизиков. Она предельно насыщена богатым фактическим материалом. Каждый приводимый в ней пример основан на систематизации и скрупулезном критическом анализе огромного фактического материала, рассеянного в многочисленных периодических и разовых публикациях, касающихся различных типов ловушек нефти и газа в песчанниках, не связанных с антиклинальными складками. Ч. Э. Б. Конибир показал специфику метода нефтегазовой палеогеоморфологии, с помощью которого погребенный рельеф выявляется на основе изучения морфологии напластований главным образом по данным промысловой и полевой геофизики. Эта работа особенно ценна для тех геологов-нефтяников и геофизиков, которые проводят поиски залежей нефти и газа в старых изученных районах, где открытие каждой, даже небольшой залежи, требует большого искусства, фундаментальных знаний в области геологии нефти и газа, а также в области стратиграфии, тектоники, литологии и других смежных дисциплин. Книга дает панорамное представление о проблеме в целом. Она является основой для новых идей, заставляет пересмотреть некоторые установившиеся положения, что будет способствовать разработке целенаправленных поисков новых залежей нефти и газа, не связанных с антиклинальными складками.

М. М. Грачевский, Е. В. Кучерук

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность миссис П. М. Карле, миссис Е. А. Кильнер, мистеру Л. Сиувену и мистеру Г. Р. Харперу за помощь при подготовке к печати рукописи и иллюстраций. Он признателен также следующим организациям, институтам и издательствам, на публикации которых в данной книге имеются ссылки и многие их иллюстрации включены в нее: Геологическому обществу Америки, Американской ассоциации геологов-нефтяников, Обществу палеонтологов и минералогов, Канадскому обществу геологов-нефтяников, Канадскому институту горного дела и металлургии, Геологическому и горному королевскому обществу Нидерландов, Обществу по поискам и разведке нефти в Австралии, Геологическому обществу Фор-Корнерс, Делавэрскому геологическому обществу, Ассоциации геологов Скалистых гор, Геологической ассоциации Вайоминга, Геологическому обществу Хьюстона, Ассоциации геологов Галф-Коста, Геологическому обществу Далласа, Геологическому обществу Талсы, Геологическому обществу Канзаса, Геологической службе США, Бюро США по мелиорации, Гидрографической службе морского флота США, Комиссии по р. Миссисипи, Геологической службе Иллинойса, Геологической службе Индианы, Геологической службе Нидерландов, Министерству нефтяной промышленности СССР, Техасскому университету, Компании Шлюмберже по обслуживанию скважин, издательству «Недра» (СССР), Джону Уайли и сыновьям, Прентис-Холл, Принстон-Юниверсити Пресс, Чапмен и Холл, Шпрингер-Ферлаг, Галф-Паблицинг компани, Трейсер Петролеум и Майнинг Паблицейшн и Эльзевир Сайнтифиг Паблицинг компани. Автор выражает также благодарность за предоставленную ему возможность чтения лекций по рассматриваемой тематике в Университете в Калгари (Канада) и в Высшей Горной школе в Колорадо (США).

В этой книге речь идет главным образом о стратиграфических ловушках нефти и газа. Образование одних, рассматриваемых в ней в качестве примеров, обусловлено палеогеоморфологическими факторами без какого-либо воздействия последующих структурообразующих процессов. В формировании других палеогеоморфологические факторы играли доминирующую роль, но характер образованных ими ловушек был видоизменен процессами складко- и сбросообразования. Ловушки первого типа являются стратиграфическими в чистом виде несмотря на то, что аккумуляция углеводородов в них может быть обусловлена региональными или локальными наклонами слоев или деформацией их, вызванной уплотнением нижележащих пород. Ко второму типу, включающему значительно большее число выявленных ловушек, относятся структурно-стратиграфические. Опыт показывает, что многие из указанных ловушек очень трудно обнаружить. Это прежде всего относится к ловушкам первого типа, которые обычно не удается выявить с помощью сейсморазведки. Некоторые из них были открыты случайно, и последующие поиски скоплений углеводородов в таких ловушках осуществлялись эмпирически.

Цель этой книги — кратко охарактеризовать примеры, иллюстрирующие основные геологические черты палеогеоморфологических факторов, которые контролировали или оказывали влияние на образование скоплений углеводородов в отдельных месторождениях, что позволит использовать такие примеры в качестве моделей при поисках новых нефтяных и газовых месторождений в песчаных телах. Многие из рассматриваемых здесь ловушек и связанных с ними залежей хорошо обоснованы фактическим материалом, что позволяет считать их классическими примерами ловушек стратиграфического типа, в которых аккумуляция нефти и газа контролируется палеогеоморфологическими факторами. Степень изучения других не позволяет достаточно однозначно говорить о палеогеоморфологическом контроле приуроченных к ним скоплений углеводородов, тем не менее они были включены в книгу в качестве дополнительного материала, который будет способствовать правильной интерпретации данных геофизики и бурения. Автор обязан многим геологам, работы которых посвящены рассмотренным здесь скоплениям углеводородов и их геологическим особенностям. Без этих материалов написание данной книги было бы невозможным.

Канберра,
Австралийский Национальный
университет

Ч. Э. Б. Конибир

Образование скоплений нефти и газа в песчаниках зависит от ряда факторов, таких как условия генерации и время миграции углеводородов или их предшественников, закономерностей в изменении пористости и проницаемости, существования структурных или стратиграфических ловушек в совокупности с надежными покрышками и геометрией самого песчаного тела. Много скважин было пробурено на основе интерпретации данных геофизики, по которым намечались замкнутые структуры в разрезе перспективных в нефтегазоносном отношении пород, однако часто оказывалось, что в них отсутствовали отложения с благоприятными нефтематеринскими породами, способными генерировать углеводороды, или не было непроницаемых покрышек над потенциальными песчаными коллекторами. Песчаники местами могут быть довольно плотными. К тому же, как правило, нам неизвестны пространственные соотношения между характерными особенностями обстановки осадконакопления и обусловленной ею закономерностью распределения проницаемых зон внутри песчаного тела. Наше понимание ситуации осложняется еще тем, что особенности обстановки осадконакопления и форма образовавшихся песчаных тел зачастую тоже неизвестны. Учитывая это, можно высказать следующие соображения по поводу классификации песчаных тел.

Листообразное или покровное песчаное тело можно рассматривать в качестве стратиграфической единицы при картировании, такой как пачка или свита, несмотря на то, что оно не характеризуется протяженностью и не является гомогенным. В одном случае оно может быть представлено дискретным песчаным образованием, в другом — включать два песчаных пласта или более, которые различаются условиями осадконакопления, формой и петрофизическими характеристиками. Нефть или газ могут быть встречены, например, в песчаниках А ниже их границы выклинивания вверх по восстановию, а не в контактирующем с ним песчанике В, который выклинивается повсеместно. Такие случаи обычны в аллювиальных отложениях приустьевых отмелей и песках, выполняющих древние речные русла, в песках, слагающих разветвляющиеся протоки дельт, и в песках, отложенных отступающим морем в пределах береговой линии.

Классификация песчаных тел по их форме предложена Ф. Дж. Петтиджоном, П. Е. Поттером и Р. Сивером [Pettijohn F. J., Potter P. E. and Siever R., 1972] вслед за классификацией П. Е. Поттера [Potter P. E., 1962 в]. Эти исследователи считают, что, по крайней мере, четыре основных типа песчаных

тел можно выделять, основываясь на форме встречающихся ископаемых песчаных тел (рис. 1), и пишут следующее на стр. 440: «Одинаковые по размерам (изометричные) песчаные тела, соотношение длины и ширины у которых примерно 1:1, могут иметь площадь распространения в несколько тысяч квадратных километров. Такие песчаные тела были названы листообразными или покровными. В противоположность этому к удлиненным песчаным телам отнесены те, длина которых значи-

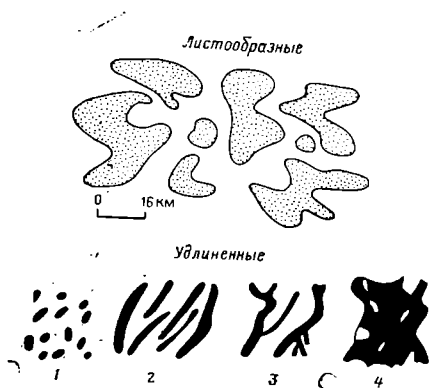


Рис. 1. Классификация песчаных тел по их форме. Предложена Ф. Дж. Петтиджем, П. Е. Поттером и Р. Сивером [Pettijohn F. J., Potter P. E. and Siever R. 1972] на основе модификации классификации П. Е. Поттера [Potter P. E., 1962]

1 — линзообразные; 2 — лентообразные; 3 — дендроидные; 4 — поясообразные

тельно превышает их ширину. Эти песчаные тела подразделяются на три типа: линзообразные, лентообразные и дендроидные [Potter P. E., 1962 a, в; fig. 3.] Линзообразные характеризуются отношением длина — ширина 3:1 или меньше. Лентообразные являются значительно более протяженными. У них длина превышает ширину в три раза и более, иногда соотношение длина — ширина может достигать величины 20:1 и более. Дж. Л. Рич [Rich J. L., 1923, p. 103] назвал такие песчанки шнурковыми. Дендроидные являются более извилистыми. Для них характерны ветви, т. е. протоки или распределительные каналы. В результате латеральной миграции лентообразные и дендроидные песчаные тела могут сливаться, образуя пояса. При этом наиболее характерно образование дендроидных поясов».

Выделенные классификационные категории основаны только на форме песчаных тел. В этой классификации не учитываются как условия среды осадконакопления, так и палеогеоморфология. Поэтому эти категории могут быть неправильно истолкованы или неверно применены, в частности по отношению к так называемым листообразным или покровным песчаникам. Несмотря на это, они являются полезными при идентификации и в некоторой степени количественной характеристике формы песчаных тел.

Листообразные песчаные толщи, которые состоят в основном из песчаников, могут быть сформированы за счет песчаных

образований разного генезиса: трансгрессивных и регрессивных прибрежных песков; золотых песков; широко распространенных песчаных слоев, отложившихся при слиянии аллювиальных конусов выноса; песчаных образований расчлененных и латерально мигрирующих эстуариевых осадков; речных отложений, отлагающихся на широкой равнине, или слоев песка, смытых в абиссальные равнины океана. Единственное сходство таких песчаных тел — их большие размеры. Однако они резко различаются по своей внутренней структуре и стратиграфическим соотношениям. Все они до некоторой степени диахронны, хотя слой песка, смытый быстро в абиссальную равнину, будет отражать настолько короткий промежуток времени, что его можно считать в качестве маркирующего стратиграфического слоя. Такие листообразные песчаные толщи могут быть сложены отдельными песчаными телами. Последние местами соединяются или полностью разделяются непроницаемыми пластами глин. Такие отделяемые друг от друга песчаные тела могут иметь изометричную или удлиненную форму.

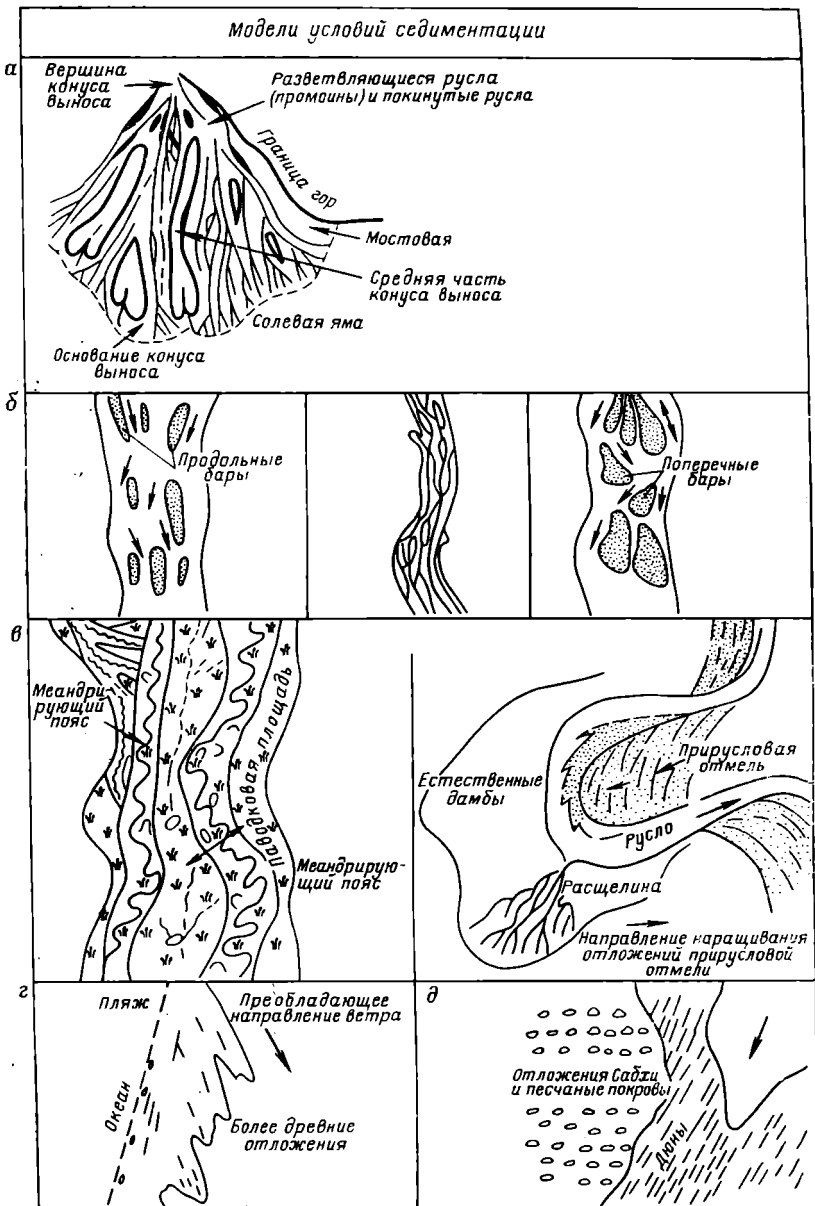
Толща вытянутых вдоль берега песков, отложенных отступающим морем, может занимать обширную площадь в относительно маломощном стратиграфическом интервале и таким образом образовывать листообразное тело больших размеров. Протяженные песчаные тела, содержащиеся в составе такого интервала, ориентированы, как правило, параллельно первоначальной береговой линии. Однако здесь могут быть встречи и другие вытянутые песчаные тела, которые простираются примерно перпендикулярно к древней линии. Чаще всего такие тела образованы песками, заполнявшими русловые распределительные каналы, врезанные в пески, отложенные вдоль береговой линии. Во многих случаях бывает очень трудно отличить пески распределительных протоков от вдольбереговых песков, с которыми они часто связаны. При решении этой задачи могут быть использованы материалы каротажа (геофизических исследований скважин), на которых может быть зафиксирован разный характер изменения зернистости по разрезу у слагающих их песчаных образований. Диагностическими признаками при этом могут служить также особенности текстуры и характер содержащихся в них ископаемых органических остатков.

Отдельные (разрозненные) песчаные тела могут быть продуктами эрозии, такие, например, как вытянутые тела песчаников, выполняющих долины, которые накапливались вдоль куэст, или линзообразные тела, сформированные как эрозионные останцы. Форма вытянутых песчаных тел, в частности тех, которые на своем протяжении изгибаются и разветвляются и некоторые из них относятся к шнурковым пескам, полностью определяется условиями их седиментации. Некоторые песчаные тела интерпретировались ранее как морские бары, барьерные острова или русловые пески в зависимости от используемых

Обстановка осадконакопления

Континентальные условия	Аллювиальные (речные)	Аллювиальные конусы выноса (вершина, средняя часть и основание конуса выноса)	Водотоки	Русла
			Вязкие потоки	Пластовый поток
				«Отсортированные отложения»
		Разветвляющиеся потоки	Обломочный поток	
			Грязевый поток	
			Бары	(разных размеров) продольные поперечные
Меандрирующие потоки (аллювиальные долины)	Меандрирующие пояса	Русла		
		Естественные дамбы		
	Паводковые площади	Прирусловые отмели		
Эоловые	Дюны	Береговые дюны	Типы: поперечный (продольный), барханы, параболические дюны, куполообразные дюны	
	Дюны пустынь			
	Другие типы дюн			

Рис. 2. Классификация обстановок осадконакопления песчаных тел и их ложена Р. Дж. Ле Бланом [Le Blanc R. J. 1972] и Х. А. Бернардом и а — аллювиальный конус выноса; б — разветвляющийся поток; в — меандрирующий поток; ж — остроконечно-дугообразная дельта; з — эстуариевая дельта; и — комплексные



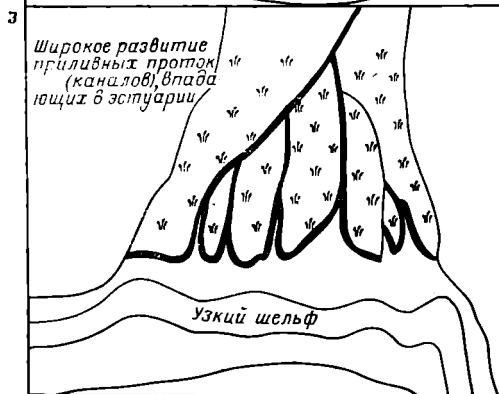
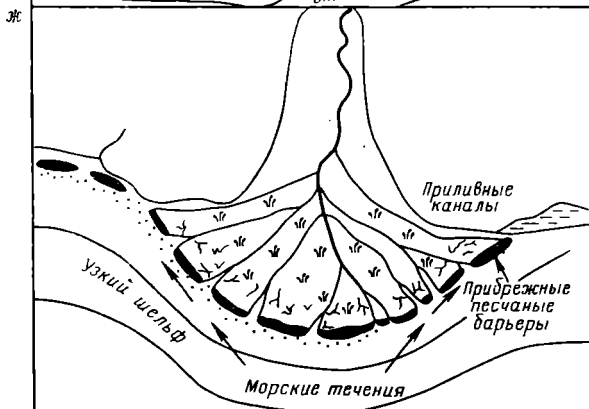
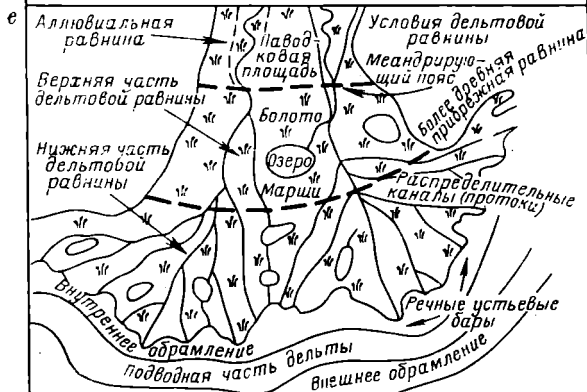
характерные геоморфологические (палеогеоморфологические) черты. Пред-
 Р. Дж. Ле Бланом [Bernard H. A. and Le Blanc R. J., 1965]
 ток; г — береговые дюны; д — дюны пустынь; е — дельта в форме птичьей лапы-лопа-
 барьерного острова; к — чениер-равнина; л — мелководноморские; ж — глубоководномор-

Обстановка осадконакопления

Переходные условия	Дельтовые	Верхняя часть дельтовой равнины	Меандрирующие пояса		Русла
					Естественные дамбы
				Прирусловые отмели	
		Паводковые птощади		Потоки, озера и болота	
		Нижняя часть дельтовой равнины	Распределительные протоки		Русла
					Естественные дамбы
		Площади между протоками	Марши, озера, приливные русла и приливо-отливные равнины		
Краевая зона	Фронт дельты	внутренний	Устьевые бары, пляжи, береговые валы, приливо-отливные равнины		
		внешний			
Периферийная					

Рис. 2

модели условий седиментации



р. 20

Обстановка осадконакопления

Переходные условия	Прибрежная внутридельтовая	Прибрежная равнина (субаэральная)	Барьерные острова	Тыл бара, барьер, пляж, фронт барьера, косы и равнины, пойменные конусы
			Чениер-равнины	Пляжи и гребни Приливно-отливные равнины
			Приливные	Приливно - отливные равнины Приливные дельты
		Подводная	Лагуны	Отмели и рифы
Приливные каналы				
Малые эстуарии				
Морские условия	Мелководно-морская	Шельфовая (неритовая)	Внутренний	Отмели и банки
			Средний	
			Внешний	
	Глубоководно-морская	Каньоны		
Конусы выноса (дельты)				
Склон и абиссаль				
Борозды и трог				

Обстановка осадконакопления

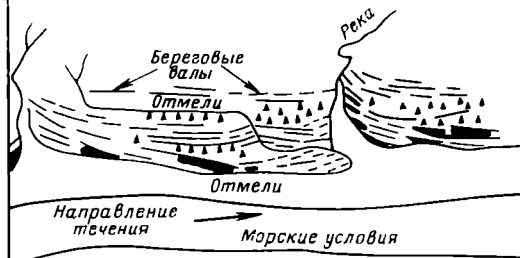
Переходные условия	Прибрежная внутريدельтовая	Прибрежная равнина (субаэральная)	Барьерные острова	Тыл бара, барьер, пляж, фронт барьера, косы и равнины, пойменные конусы
			Чениер-равнины	Пляжи и гребни Приливно-отливные равнины
			Приливные	Приливно-отливные равнины Приливные дельты
		Подводная	Лагуны	Отмели и рифы
			Приливные каналы	
			Малые эстуарии	
Морские условия	Мелководно-морская	Шельфовая (неритовая)	Внутренний	Отмели и банки
			Средний	
			Внешний	
	Глубоководно-морская	Каньоны		
			Конусы выноса (дельты)	
Склон и абиссаль				
Борозды и трог				

Модели условий седиментации

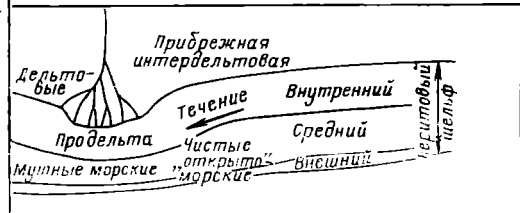
и



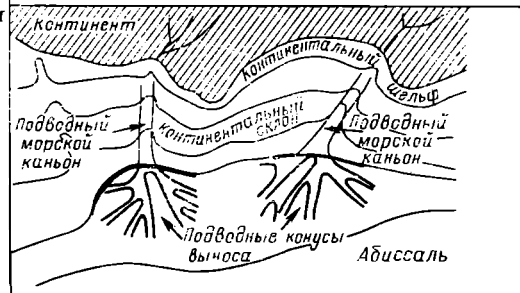
к



л



м



при их диагностике критериев и существовавших тенденций в интерпретации геологических данных.

Р. Ле Блан [Le Blanc R., 1972], вслед за Х. А. Бернардом и Р. Дж. Ле Бланом [Bernard H. A. and Le Blanc R. J., 1965] разработал классификацию песчаных тел (рис. 2, таблица), положив в ее основу условия их седиментации и геоморфологию (палеогеоморфологию). Другие классификации были предложены Л. Ф. Лапорте [Laporte L. F., 1968], Р. К. Селли [Selly R. C., 1970], З. Кукалом [Kukal Z., 1971] и Е. Дж. Кросби [Grosby E. J., 1972]. Классификация Р. Ле Блана частично базируется на форме крупных накоплений осадков, таких как отложения дельт, барьерных островов, подводных конусов выноса, а не на форме отдельных песчаных тел. Тем не менее, там, где форма накопления осадков известна, возможная форма отдельных песчаных тел, заключенных в них, и закономерности их накопления могут быть установлены. Очень важно разработать на стадии поисковых работ как можно раньше понятийную модель о характере условий седиментации на разведываемой территории. Эта модель не должна быть окончательной. Она должна постоянно дополняться и совершенствоваться. Такая модель будет служить в качестве рабочей основы, с помощью которой будет оцениваться надежность различных концепций, основанных на интерпретации все большего количества новых данных, получаемых в процессе поисков.

На полезность разработки таких моделей было указано Р. Ле Бланом [Le Blanc R., 1972, p. 135], который писал: «Для области терригенной седиментации должно быть разработано несколько понятийных моделей, для каждой из которых характерны определенные особенности среды осадконакопления, развитие седиментационных процессов, их последовательность и характер». Такой подход очень важен, в частности, при интерпретации условий образования и формирования залежей нефти и газа в песчаных телах.

Закономерности в распределении пористых и проницаемых зон в песчаных телах обычно обусловлены или контролируются особенностями седиментации. Последнее в свою очередь определяется геоморфологической ситуацией осадконакопления. В тех местах, где ловушки в песчаных телах образованы в результате процессов складко- или сбросообразования, роль стратиграфических факторов в распределении нефти и газа может быть незначительной. Однако там, где развиты чисто стратиграфические ловушки, учет седиментологических и палеогеоморфологических факторов вместе с другими, такими, как региональный наклон слоев и гидродинамика пластовых флюидов, позволяет получить дополнительные критерии, важные при поисках новых аналогичных скоплений углеводородов.

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Русловые отложения состоят из песка, алеврита и глины, которые заполняют долины, прорезанные речной системой. Эрозионная поверхность, рассеченная такими долинами, может позднее найти отображение в стратиграфическом разрезе в виде поверхности несогласия. Отложения русел, к которым относятся и отложения, заполняющие подчиненные русла, отходящие от главного, могут пользоваться широким площадным распространением, как это показано на рис. 3. Если река до-

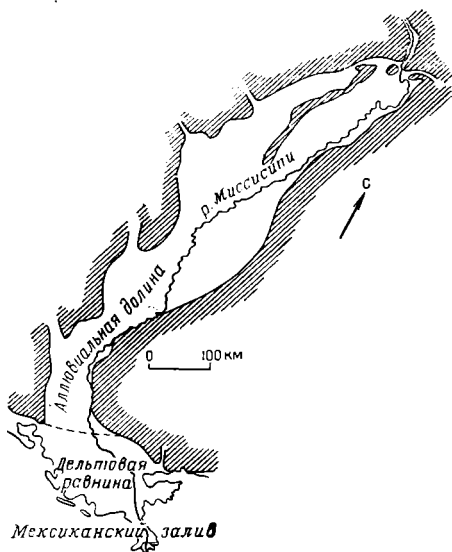


Рис. 3. Расположение аллювиальной долины и дельтовой равнины р. Миссисипи [Fisk H. N., 1947]

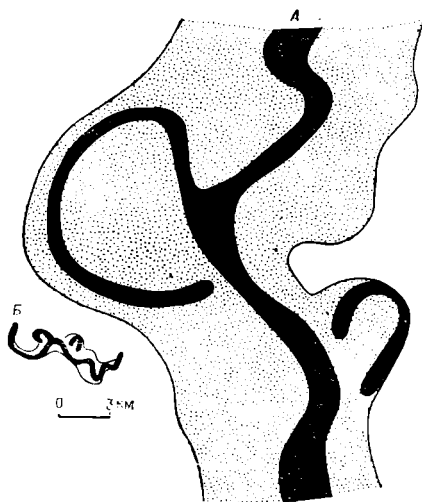


Рис. 4. Схема меандрирующего пояса крупной реки (А), такой как Миссисипи, и малой реки (Б)

статочна крупная, их мощность может достигать 50 м. В таких отложениях могут содержаться многочисленные потенциальные ловушки для нефти и газа, приуроченные к отдельным песчаным телам.

Термин русловый песок подразумевает образование вреза и его заполнение. Русла могут быть врезаны в более древние породы, которые обнажаются на эрозионной поверхности, или в почти одновременно образующиеся осадки той же самой речной системы, такие, например, как пойменные отложения. Эти русла постепенно заполняются песком. Временной интервал между образованием вреза и его заполнением в пределах одной и той же реки или его рукава может быть незначительным, практически эти два процесса можно считать одновременными.

Русловые песчаники отлагаются в пределах дна долины или в верхней части дельтовой равнины. Далее вниз по течению реки, в пределах нижней части дельтовой равнины, в речных протоках образуются руслоподобные песчаные тела в результате процессов осадконакопления, которые происходят в пределах их собственных течений. При этом каждая протока, выходящая из реки и впадающая в море, течет в пределах своих же собственных наносов. Пески проток, обычно называемые «шнурковыми песками», можно отличить от речных песков по ряду критериев, которые будут рассмотрены далее. Отдельные песчаные тела, выполняющие эрозионные формы, прорезанные реками, могут быть вытянутыми или дугообразными в зависимости от направления течения реки. При небольших изменениях направления течения эти песчаные тела могут быть полностью или частично переработаны или соединяться с более молодыми песчаными телами и образовывать довольно прямой или меандрирующий пояс, ширина которого достигает нескольких километров (рис. 4). Протяженность таких погребенных поясов была прослежена по данным бурения более чем на 50 км. Основные направления в изменении течения реки обусловлены как латеральными смещениями старого меандрирующего пояса, так и образованием новых поясов. Эти пояса могут иногда сливаться, образуя сложную систему соединяющихся и вновь разделяющихся речных песков внутри широкой долины. Для крупной реки, такой как Миссисипи (см. рис. 3), ширина долины может достигать 150 км и длина — 1000 км.

Следует отметить, что существует различие между песчаными телами, образованными в результате заполнения эрозионного русла, и песчаными телами дельтовых проток. Последние в основном надстраивают русло, а не вырезают его. Песчаные тела обоих типов могут быть похожими по внешнему виду. Оба они по своей форме являются узкими, линейно вытянутыми и отложены рекой. Однако более тщательное изучение характера распределения размера слагающих их песчаных частиц, дифференциации зернистости, осадочных текстур и содержащихся в них палеонтологических ассоциаций позволяет обнаружить ряд критериев, которые свидетельствуют об их различном генезисе. Эти критерии, о которых имеется много сведений в литературе, будут рассмотрены позднее. Однако установлено, что

эрозионные русла также образуются и заполняются песками в условиях береговой линии. Песчаные тела, сформированные в результате заполнения таких русел, не являются отложениями прирусловых отмелей, хотя они и характеризуются некоторыми особенностями, свойственными этим образованиям, как, например, распределение зернистости и косой слоистости по напластованию. Последнее свойство характерно для эстуариев, где на характер образования отложений в условиях врезов и их заполнения оказывают сильное воздействие приливные явления.

Русловые пески (*sensu stricto*) образуются как аллювиальные отложения в прорезанном рекой русле. Поэтому они представлены главным образом отложениями прирусловых отмелей. Прирусловые отмели развиваются у внутреннего изгиба главной петли или меандры реки. Когда река врезается в берег внешнего края его изгиба, прирусловые отмели образуются в результате наносов (рис. 5).

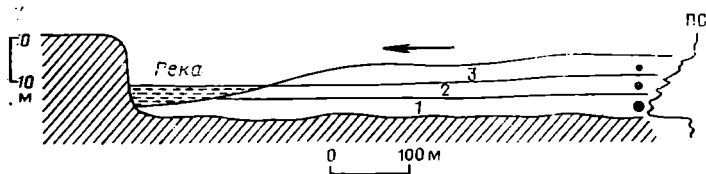


Рис. 5. Схематический разрез через отложения прирусловой отмели, иллюстрирующий постепенный переход от грубозернистого песка, галечника, гравия у основания (1) и косослоистых песков (2) к тонкозернистым горизонтально залегающим пескам и алевритам со следами ряби (3).

Стрелка указывает направление роста отложений прирусловой отмели

На рис. 5 поверхность реки показана в период низкого уровня воды. Базальная часть отложений прирусловой отмели, состоящих из наиболее грубых фракций переносимого рекой материала, таких как грубозернистый песок, галечник и гравий, отлагается непосредственно у подмываемого берега, в наиболее глубокой части реки, где течение наиболее сильно. На более пологом внутреннем склоне берега реки, где образуются крупные струи средне- и мелкозернистого песка, отлагается средняя часть косослоистых отложений прирусловой отмели. Верхняя часть прирусловой отмели обычно находится выше уровня реки. Она образуется в период паводка, когда большой объем переносимого рекой мелкозернистого песка, алеврита и ила отлагается в условиях более мелких вод, где скорость течения ниже, чем в главном русле. Самая верхняя часть слоев залегает в основном горизонтально, однако наблюдается также в небольших масштабах косая слоистость, образованная следами ряби, волны которой, как это было показано Ч. Э. Б. Конибиром и К. А. В. Круком [Conybeare C. E. V. and Crook K. A. W., 1968, лист 17], различаются по величине.

Электрокаротажная характеристика

В процессе движения меандрирующей в своей пойме реки она врезается во все более древние отложения и перераспределяет осадки. Новое русло может и не врезаться в основание старого. Следовательно, внутри мощной аллювиальной толщи последовательность в напластовании, как она показана на рис. 5, полностью или частично повторяется, несколько раз, но всегда в том же порядке. Эта последовательность, в которой наблюдается закономерное распределение по разрезу зернистости слагающих ее пород — от грубозернистых внизу до тонкозернистых сверху, является характерной особенностью аллювиальных отложений и обычно четко фиксируется на каротажной кривой ПС в виде кривой колоколообразной формы или в случае наложения друг на друга нескольких неполных последовательностей — кривой блоковой формы (кривой в форме блока). На рис. 6 показана типичная электрокаротажная кривая ПС, отражающая характер изменения зернистости по разрезу. На таких кривых, которые характерны для образований русловых песчаников, заполняющих прорезанные русла, обычно отмечается четко выраженный изгиб у основания песчаного тела, фиксирующий резкий эрозионный контакт. В соответствии со снижением размера зернистости вверх по разрезу кривая ПС также становится менее дифференцированной и приобретает колоколообразную форму. В том случае, если песчаные тела сложены материалом примерно одинаковой зернистости, например, сфор-

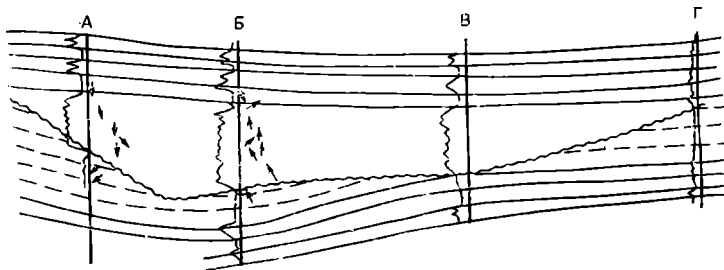


Рис. 6. Схематический электрокаротажный разрез эрозионного русла, заполненного аллювиальными песчаниками, перекрытыми чередующимися слоями песчаников и аргиллитов [Pirson S. J., 1970 с разрешения компании Schlumberger Well Service].

мированные в дельтовых протоках или образованные как отложения прирусловой отмели в результате последующего эрозионного среза и осадконакопления, то кривая ПС имеет цилиндрическую или блоковую форму. Последняя обычна для аллювиальных песчаных тел, заполняющих русла, как это показано на рис. 6.

На рис. 6 видна характерная блоковая форма кривой соб-

ственного потенциала (ПС) для песчаников, заполняющих долину. Кривая ПС позволяет судить о проницаемости песчаного тела, которая, помимо влияния на нее цементации, вызванной кальцитизацией и другими явлениями, происходящими в процессе эпигенеза, обычно зависит от содержания глин в составе цементирующей среды песчаной породы в первоначальный период. В общем, чем более грубозернистым является песок и чем меньше в его составе глины, тем выше его проницаемость. Вторичная цементация песчаника и его сильное уплотнение также оказывают влияние на его проницаемость и форму характеризующей его кривой ПС. Следовательно, формой кривой ПС для оценки распределения зернистости по разрезу в песчаном теле следует пользоваться с осторожностью.

Пример соотношения, обычно наблюдаемого между характером распределения по разрезу зернистости песчаных образований и формой, отображающей их кривой ПС, показан на рис. 7.

На рис. 7 видно различное отображение на электрокаротажной кривой песчаников морского и аллювиального генезиса. Нижнемеловые долинные песчаники (ДП) в бассейне Денвер перекрываются отложениями свиты Хантсмен (Х) и подстилаются песчаниками J_2 и отложениями, слагающими свиту Скалл-Крик (СК). Они отображаются блоковой и колоколообразной формами кривых ПС, которые отражают соответственно однообразное распределение зернистости пород в разрезе и переход от более грубой разности внизу к более тонкой вверх. В породах, характеризующихся однообразным разрезом слагающих их частиц, как это показано на рис. 7, по-видимому, колебания величины их проницаемости будут незначительны, хотя пористость их и увеличивается к основанию (подошве) песчаного тела. В тех же песчаных образованиях (см. рис. 7), где наблюдается увеличение размеров слагающих их частиц к основанию (подошве) песчаного тела, как пористость, так и проницаемость их увеличивается в этом же направлении. Это фиксируется и кривой ПС. Наоборот, в песчаниках J_2 , которые образуются из регрессивных морских вдольбереговых песков, наблюдается снижение

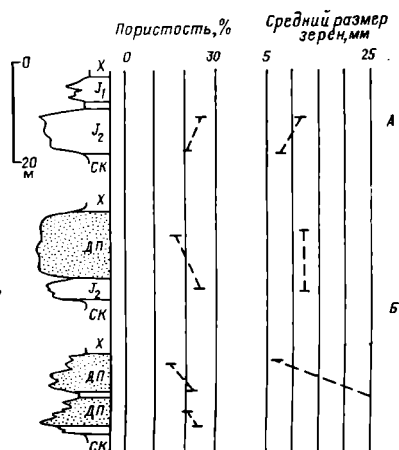


Рис. 7. Связь электрокаротажной характеристики с характером зернистости и пористости в песчаниках J_2 и долинных песчаниках (ДП) мелового возраста в бассейне Денвер, Небраска [Harms J C., 1966].

Свиты: СК — Скалл-Крик, Х — Хантсмен.

Пески: А — морские, Б — речные

пористости, проницаемости и размеров слагающих их зерен к подошве песчаного тела.

Из песчаных образований, приведенных здесь в качестве примера (см. рис. 7), основной объем добываемой нефти и газа приходится на долю долинных песчаников. Небольшое количество нефти и газа получают также из морских вдольбереговых песчаников. Основной продуктивный горизонт песчаников заполняет узкую погребенную каньонообразную долину, простирающуюся с севера на юг более чем на 40 км. Ширина долины более 450 м, мощность выполняющих его песчаных пород составляет в среднем 15 м. К настоящему времени в зоне распространения долинных песчаников обнаружено семь нефтяных месторождений. Они приурочены к местам пересечения этой древней погребенной долины антиклинальными складками, погружающимися на северо-запад.

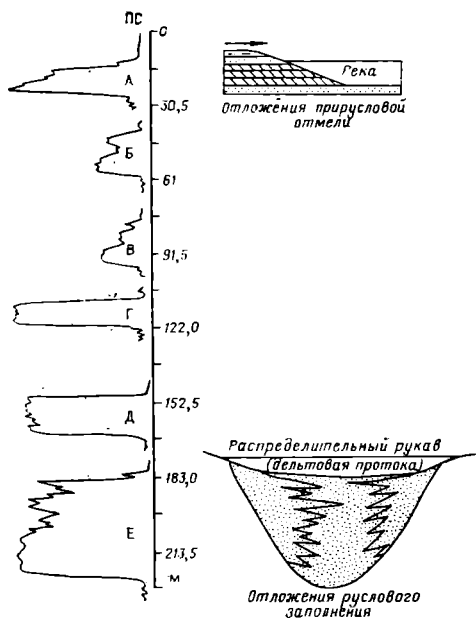


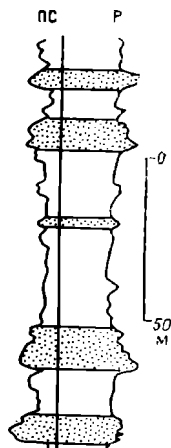
Рис. 8. Электрокаротажные кривые ПС и обобщенные разрезы отложений прирусловой отмели и руслового заполнения. Стрелкой указано направление роста прирусловой отмели. А — верхнемеловые песчаники Таскалуса, месторождение Уиснер; Б — олигоцен, песчаники 19 В, месторождение Силигсон, Техас; В — нижнемеловые песчаники Блэрмор, месторождение Карбон, Альберта; Г — верхнемеловые песчаники Q Таскалуса, месторождение Литл-Крик, Миссисипи; Д — миоценовые песчаники М, месторождение Уэст-Лейк-Веррет, Луизиана; Е — миоценовые песчаники S, месторождение Дельта-Дак-Клаб, Луизиана

песчаники олигоцена 19 В на месторождении Силигсон в Техасе и В — нижнемеловые песчаники Блэрмор на месторождении Карбон в Альберте. Для всех них характерна колоколообразная форма кривой ПС, которая свойственна аллювиальным песчанникам, сложным грубозернистыми разностями у основания, переходящими в мелкозернистые к кровле. Эти песчаники образовались из первоначально сформированных песчаных

узкую погребенную каньонообразную долину, простирающуюся с севера на юг более чем на 40 км. Ширина долины более 450 м, мощность выполняющих его песчаных пород составляет в среднем 15 м. К настоящему времени в зоне распространения долинных песчаников обнаружено семь нефтяных месторождений. Они приурочены к местам пересечения этой древней погребенной долины антиклинальными складками, погружающимися на северо-запад.

Другие примеры отображения особенностей строения отложений речных прирусловых отмелей и русловых образований показаны на рис. 8. На этом рисунке видны колоколообразная и цилиндрическая формы кривых ПС и их связь с отложениями прирусловых отмелей и руслового заполнения. В качестве верхних трех примеров на этом рисунке приводятся следующие: А — верхнемеловые песчаники Таскалуса на месторождении Уиснер в Луизиане; Б —

Рис. 9. Электрокаротажный разрез отложений, сложенных песчаниками руслового выполнения (заполнены крапом), и отложений поймы, представленных аргиллитами и алевритами в разрезе нижнемеловой серии Потомак в бассейне Делавэр [Spoljagic N., 1967]. Заимствовано у Дж. К. Крафта, Р. Е. Шеридана и М. Мейсано [Kraft J. C., Sheridan R. E. and Maisano M., 1971]



пород, представленных отложениями прирусловых отмелей. Для нижних трех примеров характерна блоковая или цилиндрическая форма кривой ПС, которая отражает песчаные тела, сложенные однообразными по размеру частицами снизу доверху или серию пластов, в которых перемены снивелировали изменение их гранулометрии. В качестве таких примеров приведены следующие; *Г* — верхнемеловые песчаники *Q* свиты Таскалуса на месторождении Литл-Крик в Миссисипи; *Д* — песчаники *M* миоценового возраста на месторождении Уэст-Лейк-Веррет в Луизиане и *Е* — песчаники *S* миоцена на месторождении Дельта-Дак-Клаб в Луизиане. Считают, что эти песчаные тела представлены песчаниками распределительных протоков дельты. Истолкование палеогеографических условий образования, которые считаются отличными для рассматриваемых трех верхних и трех нижних песчаных тел, показанных на рис. 8, до некоторой степени произвольно. В общем, аллювиальные песчаники, отложенные на участке между средним и верхним изгибами речной системы, характеризуются четко выраженной дифференциацией зернистости, как это наблюдается у отложений типа прирусловых отмелей. Для песков, отложившихся в пределах нижних изгибов, в частности в дельтовых протоках, дифференциация зернистости по разрезу значительно меньше. Их слагают частицы однообразно по размеру.

Дж. К. Крафт, Р. Е. Шеридан и М. Мейсано [Kraft J. C., Sheridan R. E. and Maisano M., 1971 p. 671—672] привели другой пример с характерной колоколообразной формой кривой ПС. Такими являются русловые песчаники меандрирующей реки в разрезе нижнемеловых отложений серии Потомак во впадине Делавэр (рис. 9). Они пишут: «Н. Сполярнич [Spoljagic N., fig. 12, 1967] привел результаты анализа русловых песчаников серии Потомак. Литолого-фациальная карта, составленная для одной из песчаных пачек, образованной меандрирующей рекой в разрезе серии Потомак, показывает, что эта нижнемеловая континентальная толща характеризуется благоприятными условиями для формирования в ней скоплений углеводородов, в частности на тех площадях, где пески серии Потомак и их стратиграфические аналоги более глубоко погружены, например в прогибе Бал-

тимор-Каньон. Конечно, на площадях, где были развиты разветвленные протоки и поймы и где на долю песчаников серии Потомак приходится до 50% всей толщи, маловероятно ожидать существования отдельных четко выраженных ловушек для углеводородов. Однако там, где встречается латеральная фациальная изменчивость, свойственная отложениям болот или пойменных болот, и где пески составляют примерно 20% от мощности всего разреза, весьма вероятно развитие отдельных песчаных тел, представленных песками меандрирующего русла, в которых при их экранировании вверх по восстанию возможно образование скоплений углеводородов».

Уплотнение

Некоторые вопросы, связанные с дифференциальным уплотнением и генезисом песчаных тел, рассмотрены и показаны на рис. 10 и 11. Они ранее освещались в работах Г. Риттенхау-

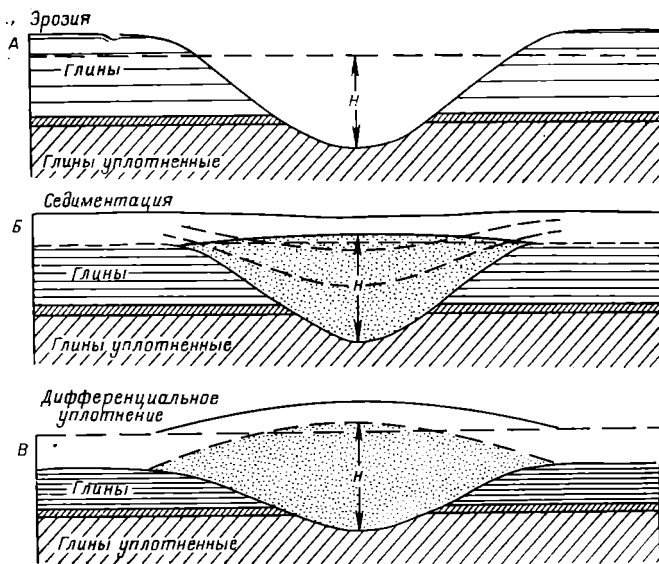


Рис. 10. Схематические разрезы, показывающие эрозийное русло в уплотненных глинах и залегающие над ним неуплотненные илы (А); пески, заполнившие русло и ограниченные с боков глинами в процессе уплотнения (В); В — уплотненные глины и выгнутое песчаное тело плащеобразно перекрываются осадками в результате дифференциального уплотнения (В) [Pirson S. J., 1970, с разрешения журнала World Oil]

за [Rittenhouse G., 1961], А. А. Освальда и Б. Б. Сенса [Oswaldt A. A. and Sens B. B., 1963], С. Дж. Пирсона [Pirson S. J., 1970], Ф. Дж. Петтиджона, П. Е. Поттера и Р. Си-

вера [Pettijohn F. J., Potter P. E. and Siever R., 1972]. Установление первоначальной формы песчаного тела, в частности выяснение, является ли оно образованием бароподобной насыпи или заполняет эрозионное русло, зависит во многом от выяснения его соотношения с заключающими его слоями. Если в разрезе имеется маломощный слой или в пределах серии может быть выбран стратиграфический горизонт — репер, можно получить некоторое представление относительно дифференциального уплотнения песчаного тела и заключающих его слоев. При отсутствии такого маркирующего пласта интерпретация процесса уплотнения не может быть однозначной. Во всех случаях при использовании для этих целей маркирующего горизонта необходимо иметь четкое представление о конфигурации его в период осадконакопления. Обычно считают, что маркирующий пласт был почти плоской поверхностью, возможно с небольшими неровностями, очень слабо деформированным и очень полого наклоненным. Эти представления в некоторых случаях не являются справедливыми. Важен правильный выбор местоположения маркирующего горизонта. Очевидно, что выбор маркирующего горизонта выше или ниже линейно вытянутого песчаного тела может привести при интерпретации к различным заключениям. В первом случае можно сделать вывод, что песчаное тело образовано осадками, заполнившими русло, в то время как во втором случае можно прийти к заключению, что песчаное тело «надстроено», т. е. представляет собой бар или барьерный остров. Учет при любой интерпретации данных палеогеографических условий района позволяет с большей надежностью проводить экстраполяцию в отношении закономерностей распространения песчаных тел.

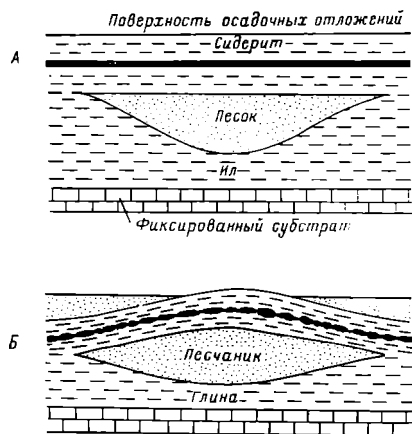


Рис. 11. Разрезы, показывающие изгибание песчаного тела (внизу) вследствие уплотнения русловых песков (вверху) [Dupuy J. R., Oswaldt G. and Sens J., 1963 с изменениями Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. 1972].

А — перед уплотнением, Б — после уплотнения

Древние песчаные тела

Речные фации известны в отложениях всех систем — от докембрия до четвертичных. Однако скопления нефти и газа обнаружены начиная с отложений девона и в более молодых по-

родах. Некоторые из известных примеров древних речных отложений, как это установлено, являются русловыми песками. Критериями для таких заключений служат главным образом форма песчаного тела, характер распределения слагающих его частиц и текстура осадочных пород. Вся эта информация получена в результате изучения данных бурения и обнажений. Присутствие определенных типов раковин, обычно пресноводных гастропод и двустворок, и изобилие обугленных древесных остатков в их составе, по-видимому, свидетельствует об их континентальном происхождении, хотя эти ископаемые остатки могут попасть в песчаники, образовавшиеся в эстуариевых или прибрежно-морских условиях. Растительные остатки также могут быть довольно обильными в некоторых глубоководных осадках, например, в отложениях подводных конусов выноса, образованных турбидитными потоками, переносящими материал, принесенный р. Конго в подводные каньоны [Shepard F. P., 1965, а, в)].

По составу пород и отсортированности не всегда можно определить условия их седиментации. Однако в общем случае плохо отсортированные кварцевые и каолиновые песчаники с довольно высоким содержанием в их составе каменных обломков по своему происхождению, очевидно, являются речными. Они образовались либо из речных песков, отложившихся в речной системе, либо из отложений разветвленного потока в пределах аллювиального конуса выноса. Речные пески, отложенные дельтовыми протоками, также являются кварцевыми, но они обычно мелкозернистые, хорошо отсортированные и их нелегко отличить по литологии от морских вдольбереговых песков.

Возраст наиболее древних из известных речных отложений, включая отложения Торридонской свиты Шотландии, датируется протерозоем. Наиболее древние из известных речных отложений в разрезе кембрия — молассовые отложения, развитые в пределах западной части Сибирской платформы. Самые древние русловые песчаные отложения, которые были прослежены на расстояние в несколько километров, — ордовикские отложения, выполняющие русла Пьюласки и Фейетвилл в Теннесси.

Русла Пьюласки и Фейетвилл, Теннесси

Верхнеордовикские (ричмондские) русла Пьюласки и Фейетвилл (рис. 12), известные в Теннесси, местами обнажаются на поверхности. Русло Пьюласки врезано в нижнеордовикские (трентонские) известняки. Глубина его достигает 40 м, ширина колеблется от 300 до 750 м. Оно прослежено в длину более чем на 50 км. Базальная часть этого русла выполнена кварцевыми конгломератовыми грубыми песчаниками с обильной галькой известняков, валунами и булыжниками. Выше базальной части русла, но все еще в его нижней половине, залегают грубозер-

нистые песчаники, содержащие в своем составе довольно большое количество хорошо окатанных кварцевых зерен. В некоторых обнажениях мощность песчаников достигает 10 м. Они характеризуются косою слоистостью, по которой можно определить, что направление течения было с юго-востока на северо-запад. Эта песчаная толща перекрывается зеленовато-серыми глинами, заполняющими долину. Глины в свою очередь перекрываются песчаниками и известняками. Интересно, что направление переноса песка, если судить по косою слоистости, не согласуется с интерпретацией региональной палеогеографии в ричмондское время, рассмотренной Г. В. Уилсоном [Wilson G. W., 1948, p. 743], который писал: «Эти направления ориентированы против течения по отношению к направлению текущих тогда потоков, эродировавших район; они направлены в сторону суши от наступающего моря». Он относит эти пески к эстуариевым образованиям и предположительно объясняет характер разбитой в них слоистости действием морских приливов. Глины, выполняющие верхнюю часть русла, по его мнению, также образовались в эстуариевых условиях, к северо-западу от наступающего моря.

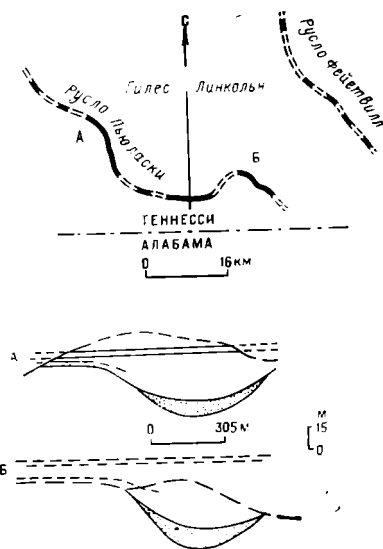


Рис. 12. Карта и разрезы речных русел Пьюласки и Фейетвилл ордовикского возраста в округах Гилес и Линкольн, Теннесси [Wilson G. W., 1948]

Русла Бедфорд, Огайо

Русла Бедфорд (рис. 13), которые наблюдаются внутри красных глин миссисипской свиты Бедфорд в Огайо, выполнены кварцевыми песчаниками и образуют извилистую систему. Последняя была прослежена на расстояние более чем 100 км с севера на юг. Эта система очень похожа на петлеобразную систему меандр р. Миссисипи, и она интерпретируется как дренажная система в пределах дельты Бедфорд (дельты бедфордского времени). Несколько моложе по возрасту система русел заполненных песчаниками, которые составляют базальную часть залегающих выше песчаников Бери. Эта базальная часть заполняет русла, врезанные в свиту Бедфорд, а местами и в залегающую ниже пачку Кливленд, входящую в состав верхне-

девонских сланцев, развитых в Огайо. Многие из русел обычно имеют ширину порядка 300—600 м и глубину до 60 м.

Добыча нефти и газа производится из этих более молодых русел, включая русло Кабин-Крик. На месторождении Кабин-

Крик добыча газа производится из хрупких кварцевых песчаников. Покрышкой залежи являются окремненные кварцевые песчаники. По мнению Дж. Ф. Пеппера, В. Де Витта и Д. Ф. Демареста [Pepper J. F., De Witt W. and Demarest D. F. 1954], окремнение кварцевых песчаников произошло в результате распространения процессов цементации вниз по разрезу выполняющих русло песчаников.

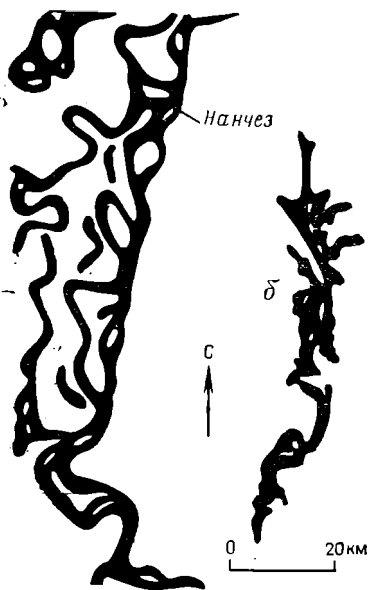


Рис. 13. Русловые пески

а — русла р. Миссисипи вблизи Нанчеза. Течение с севера на юг [Fisk H. N., 1944]; б — русловые пески в миссисипских отложениях свиты Бедфорд в Северном Огайо. Течение с севера на юг. Масштаб такой же, как и на левой части рисунка [Pepper J. F., De Witt W., Demarest D. F., 1954]

Русло Анвил-Рок, Иллинойс

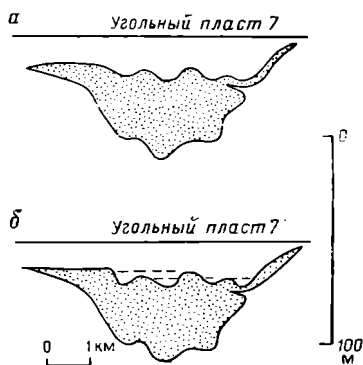
Песчаники Анвил-Рок пенсильванского возраста в Иллинойском бассейне заполняют русла, которые меандрировали вниз по палеосклону и врезались в дельтовые листообразные пески [Hopkins M. E., 1958; Potter P. E. and Simon J. A., 1961]. На рис. 14 показано одно из таких русел, ширина которого более 5 км, а мощность выполняющих его пород достигает почти 60 м.

Как уже отмечалось ранее, в интервале, где наблюдалось уплотнение русловых песков, от выбора самого репера во многом зависит вывод о генезисе и первоначальной форме изучаемого песчаного тела. При реконструкции формы линейно вытянутого песчаного тела, которое могло образоваться в результате заполнения песком русла, в качестве репера можно выбрать пласт, залегающий ниже песчаного тела, у его основания, в его кровле или выше, в отложениях над песчаным телом. Если песчаное тело образовалось в результате заполнения русла песком, тогда любой стратиграфический горизонт, залегающий ниже песчаного тела, взятый в качестве маркирующего, не характерен, поскольку маркирующий горизонт в этом случае будет, как правило, деформирован в результате уплотнения, происхо-

дившего в процессе накопления залегающего выше него песчаного тела. В том случае если песчаное тело залегают непосредственно на поверхности несогласия, брать маркирующий пласт ниже него также нецелесообразно, поскольку он может быть

Рис. 14. Русловые пески пенсильванского возраста

a — разрез русловых песчаников Анвил-Рок пенсильванского возраста в Иллинойском бассейне. В качестве маркирующего горизонта взят угольный пласт № 7 [Potter P. E., 1963]; *b* — переннтерпретация верхнего разреза (*a*), показывающая возможное соответствие приподнятых участков останцам террас речной долины



деформирован до отложения песчаного тела. Точно так же, если песчаное тело представляло собой вначале скопления руслового песка, в качестве репера принимать его подошву или дно русла было бы ошибочным, поскольку это привело бы к неправильным реконструкциям. Кровля песчаного тела, выбранная в качестве репера, позволит реконструировать истинную картину формы сечения руслового песчаного тела на момент времени, когда оно только что было погребено, поскольку взятая в качестве репера поверхность его была в тот момент почти плоской, но такие случаи встречаются редко. Наиболее надежные реконструкции удается осуществить, если в качестве репера взять какой-либо стратиграфический горизонт выше песчаного тела, но недалеко от его поверхности. Это также облегчает интерпретацию структурно приподнятых участков песчаного горизонта, которые представляют собой эрозионные останцы террас речных долин и погребенные песчаные холмы. Если такие «поднятия» являются замкнутыми, то они могут служить местами для нефти и газа, как это наблюдается в песчаниках Эллерсли нижнемелового возраста на месторождениях Белшилл-Лейк, Хофенден и Аллайанс в Альберте.

Русло Карбондейл, Иллинойс

Русло Карбондейл в юго-восточном Иллинойсе представляет собой интересный пример древнего меандрирующего потока, который протекал через плоскую поверхность маршей и болот. В разрезе свиты Карбондейл пенсильванского возраста в зоне развития угольного пласта № 5 содержится песчаное тело, кото-

рое образовалось в результате заполнения русла песком. Это русло, детали строения которого хорошо изучены по материалам бурения (рис. 15), по-видимому, было частью дренажной системы, развитой на плоской заболоченной земной поверхности, где она образовывала часть дельтового комплекса. Русло шириной, как видно из рисунка, примерно 2 км, можно проследить до 100 км. По поводу этого русла Х. Р. Уанлесс [Wanless H. R.,

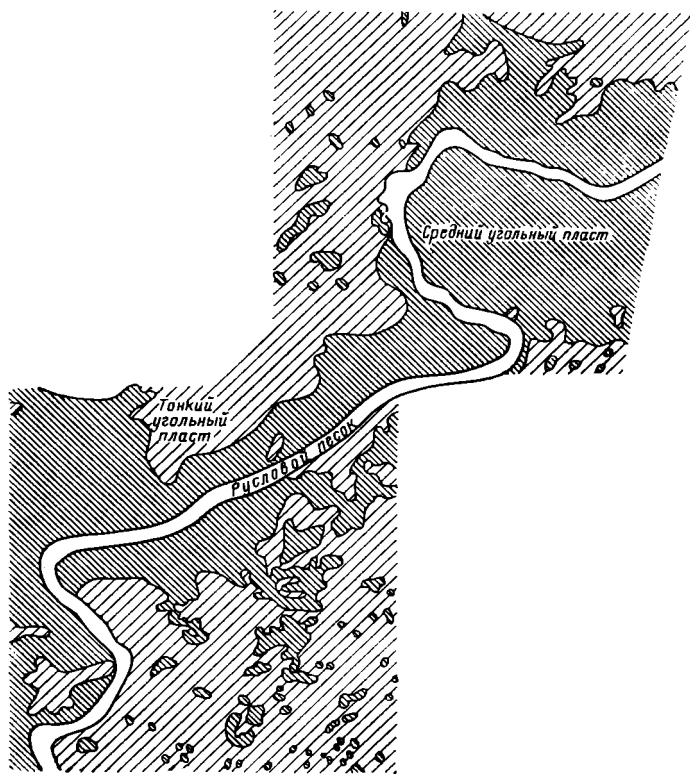


Рис. 15. Карта, показывающая очертания русловых песков, развитых в пределах распространения угольного пласта № 5 в разрезе свиты Карбондейл пенсильванского возраста в юго-восточном Иллинойсе [Составил Wanless H. R. et al., 1970 по данным Trescott P. C., 1964 и Vail R. S., 1965]

1970, стр. 288] писал: «Поскольку песчаники не распространяются стратиграфически выше развития угольных пластов, мало вероятно, что пласты угля были отложены и затем вскрыты эрозией. Очевидно, река протекала по извилистому руслу, в то время как в соседнем болоте происходило накопление угля». Интересно, что самые мощные угольные пласты развиты в пределах поймы шириной 10—15 км, вдоль которой меандрировало

русло. Это позволяет предположить, что эта пойма образовала долину, в ней растительный материал накапливался быстрее, чем в прилегающих приподнятых участках суши. На рис. 16 приведен другой пример распространения руслового песчаника в разрезе пенсильвания в Иллинойском бассейне. Это песчаное

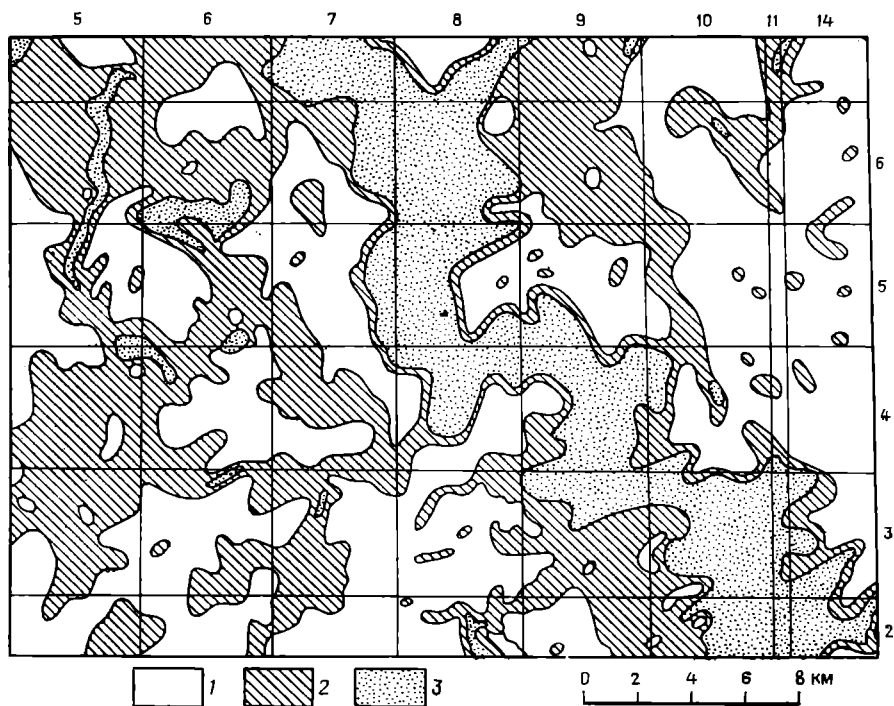


Рис. 16. Карта изопакит песчаников пенсильванского возраста [По Potter P.E., 1963 с изменениями Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R., 1972].
Мощность песчаников (в м): 1—0; 2—1—6; 3—7—24

тело, мощность которого достигает 25 м, было прослежено вдоль меандрирующего потока более чем на 30 км. Рисовка изолиний на карте изопакит является типичной, полученной в результате наложения соединяющихся и разъединяющихся протоков, впадающих в главное русло и, вероятно, характеризует схему дренажа на довольно плоском участке земной поверхности.

Другой пример русла, врезанного в угленосные отложения (рис. 17), приведен С. Уиером [Wier S., 1953]. Это русло, заполненное грубослоистыми песчаниками, обнаружено в разрезе свиты Петерсберг пенсильванского возраста в Иллинойском бассейне. Его ширина превышает 2 км. Оно выделено отложениями мощностью более 20 м и прослежено на несколько километров с запада на восток. Положение косой слоистости ука-

зывает на то, что течение происходило в западном направлении. Русло, как полагают, представляло собой дельтовую протоку, которая протекала по прибрежному низинному болоту. Русло перекрывается сверху алевролитами и, что особенно интересно,

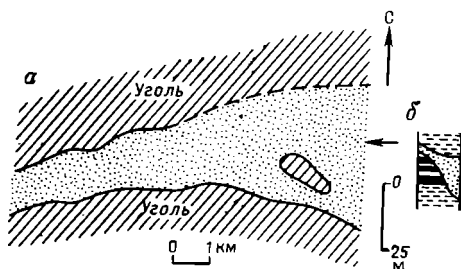


Рис. 17. План (а) и разрез (б) русла, выполненного песчаниками в размытом угольном пласте V в разрезе свиты Петерсбер пенсильванского возраста в Иллинойском бассейне, округ Пайк, Индиана [Wier C., 1953]

линзообразными слоями известняков. Такое стратиграфическое соотношение позволяет предположить, что существовавшие здесь в прошлом условия осадконакопления были похожи на те, которые наблюдаются в настоящее время в некоторых частях Флориды, как это было описано В. Спакменом, Д. В. Шолем и В. Х. Тафтом [Spackman W., Scholl D. W. and Taft W. H., 1964].

Русла Грейам, Техас

Заполненные песчаниками русла в отложениях свиты Грейам верхнепенсильванской серии Сиско во впадине Бразос в Техасе были подробно описаны В. Ли [Lee W., 1938]. Стратиграфические соотношения несогласно залегающих русловых песчаников, слагающих отдельные наложенные друг на друга русла, показано на рис. 18. Из него видно врезание вышезалегающих русел в

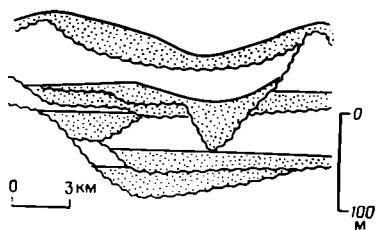


Рис. 18. Разрез русловых песчаников в отложениях свиты Грейам пенсильванского возраста серии Сиско во впадине Бразос, Техас [Lee W., 1938]

нижезалегающие. Ширина отдельных русел достигает 15 км, глубина — 60 м. Эти русла выполнены кварцевыми песчаниками, хорошо отсортированными, косослоистыми. Местами они содержат обильное количество обломков обугленных растительных остатков.

Полагают, что русла были прорезаны системой соединяющихся и вновь разделяющихся протоков. Они выражены в из-

вестняках и сланцах, накопившихся в условиях от неритовых до паралических, рядом с которыми существовала, вероятно, обширная погружающаяся прибрежная равнина.

Русла Бартлсвилл, Канзас

Генезис линейно вытянутых песчаных тел в разрезе нижнепенсильванских сланцев Чероки в Канзасе и Оклахоме интерпретируется разными исследователями по-разному. Ф. Б. Рис [Rees F. B., 1972, стр. 176] пишет: «Много исследователей занималось изучением «шнурковых песков» в Юго-Восточном Канзасе и Северо-Восточной Оклахоме. Их относили к прибрежным барам, барьерно-островным барам, береговым валам, дюнным пескам и пескам прирусловых отмелей. Такие различные представления по поводу этих песчаных тел обусловлены, по-видимому, различной интерпретацией, основанной на форме их залегания». На рис. 19 показано распространение двух таких протяжен-

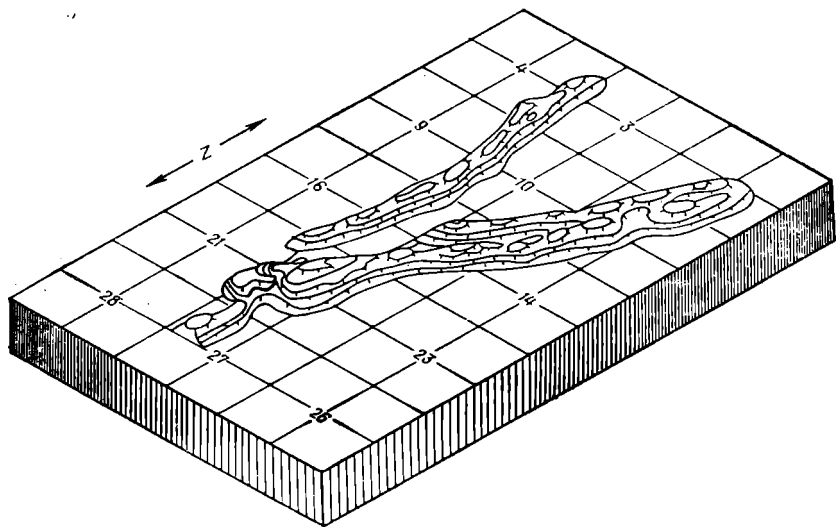


Рис. 19. Блок-диаграмма, на которой показана интерпретация распространения шнуркового песчаного тела в разрезе песчаников Бартлсвилл нижнепенсильванского возраста на месторождении Чаньют в Канзасе [Dillard W. R., Oak D. P., Bass W. B., 1941].
Сетка 0,4 км. сечение изолиний 10 футов (3 м)

ных песчаных тел в разрезе месторождения Чаньют в Канзасе. На основе реконструкции их первоначальной формы В. Р. Диллар, Д. П. Ок и Н. В. Басс [Dillard W. R., Oak D. P. and Bass N. W., 1941], считают, что они являются прибрежными барями, основываясь на их плоской подошве; в то же время ими было отмечено, что выраженный в разрезе угольный пласт перекрыва-

ются песчаными телами с косо́й слоистостью. Ранее проведенными исследованиями Дж. Д. Льюиса [Lewis J. D., 1929] и позднейшими работами Ф. Б. Риса [Rees F. B., 1972] подтверждена точка зрения, что бартлсвиллские «шнурковые пески» по своему происхождению являются речными, и они были отложены протоками. Мощность этих узких вытянутых песчаных тел не превышает 30 м.

Русла Шайнарамп, Юта

Отложения верхнетриасовой свиты Шайнарамп (рис. 20), развитые в штатах Юта, Колорадо, Аризона и Нью-Мексико, сложены речными песчаниками, среди которых развиты крупно-



Рис. 20. Профиль, показывающий русла, выполненные песчаниками у основания свиты Чинл триасового возраста и внутри нее [Stokes, 1961]

зернистые разности. Они выполняют русла, врезанные в нижележащие нижнетриасовые отложения свиты Монкопи. Эти русла, глубина которых меньше 30 м, на своем протяжении имеют извилистую форму и развиты у основания и в нижней части верхнетриасовой свиты Чинл. Видимо, русловые песчаники образовались из песков прирусловых отмелей и связанных с ними песчаных тел, которые были отложены меандрирующей рекой. Последняя занимала обширную площадь в районе Фор-Корнерс. Характерной чертой этих песчаников является наличие в них косо́й слоистости и обугленных растительных остатков. Интересно, что в нижней части этих песчаников местами добывается шахтным способом руда, содержащая уран и ванадий, которые были отложены растворами, циркулировавшими вдоль наиболее проницаемых путей русловых отложений.

Русло Джэкпайл, Нью-Мексико

Песчаники Джэкпайл (рис. 21), залегающие в верхней части верхнеюрской свиты Моррисон в штате Нью-Мексико, заполняют русло, протягивающееся в северо-восточном направлении. Русло тянется более чем на 50 км. Ширина его до 20 км, глубина около 60 м. Северо-восточное продолжение этого русла разветвляется на 3 отдельных канала, расчлененных в свою очередь протоками, которые текли к северо-востоку. Состав песчаников Джэкпайл, которые заполняют и эти вспомогатель-

ные каналы (рукава), изменяется по разрезу, от полевощпатовых разностей с кальцитовым цементом, залегающих внизу, до каолиновых и кварцевых песчаников в кровле. Такое изменение состава песчаников, по мнению Дж. С. Шли и Р. Х. Монха

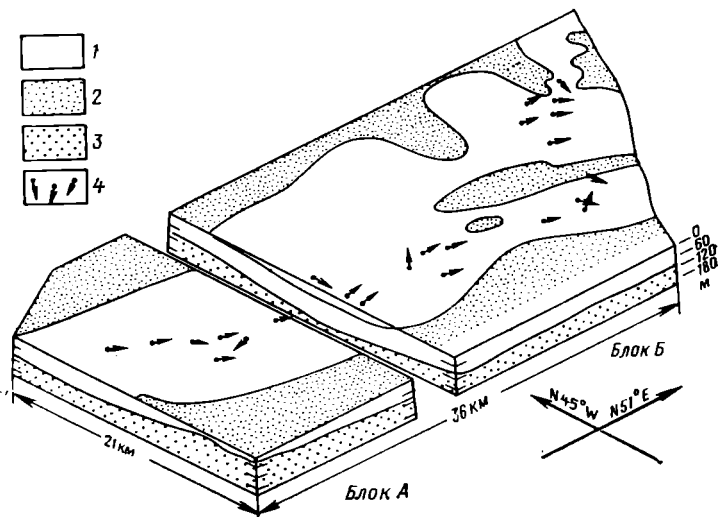


Рис. 21. Схематическая блок-диаграмма, показывающая конфигурацию аллювиальных песчаников Джэкпайл, являющихся верхней пачкой свиты Моррисон верхнеюрского возраста, Нью-Мексико [Schlee J. S., Moench R. H., 1961]: 1 — песчаники Джэкпайл свиты Моррисон; 2 — нерасчлененные слои, залегающие ниже свиты Моррисон; 3 — преобладающее направление падения кривой слоистости. Кровля песков является подошвой песчаников Дакота

[Schlee J. S. and Moench R. H., 1961], обусловлено процессами выветривания, отмечавшимися до начала отложения перекрывающих их нижнемеловых пород свиты Дакота. Эти русловые песчаники сравнительно хорошо отсортированы, в них наблю-

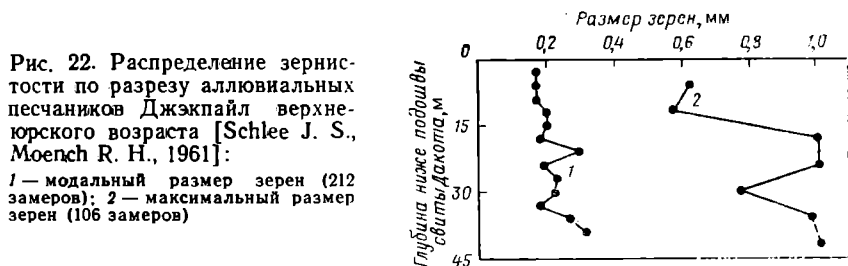


Рис. 22. Распределение зернистости по разрезу аллювиальных песчаников Джэкпайл верхнеюрского возраста [Schlee J. S., Moench R. H., 1961]:

1 — модальный размер зерен (212 замеров); 2 — максимальный размер зерен (106 замеров)

дается косая слоистость, представлены они мелко- и среднезернистыми разностями. В целом наблюдается увеличение тонкозернистых разностей вверх по разрезу от подошвы песчаников к их кровле (рис. 22). Отложения, слагающие свиту Джэк-

пайл, являются важным вместилищем урановых руд, которые разрабатываются на площади Лагуна к западу от г. Альбукерке в штате Нью-Мексико.

Нефтяные и газовые месторождения

Речные песчаники установлены в отложениях всех систем от протерозоя до четвертичных включительно. Однако скопления нефти и газа не известны пока в породах древнее девонского возраста. Количественное распределение по возрасту коллекторов рассмотренных здесь 28 месторождений, в которых продуктивны речные отложения, следующее: два месторождения известны в отложениях девона, три — в отложениях миссисипий, пять — в отложениях пенсильвания, одно — в отложениях перми, одно — в отложениях триаса, одно — в отложениях юры, 12 — в отложениях мела и три — в породах третичного возраста. На первый взгляд из этой ограниченной выборки может показаться, что меловые отложения являются наиболее благоприятными в отношении наличия скоплений углеводородов в речных отложениях. Однако следует учесть, что все приведенные здесь примеры относятся к Альберте (Канада) и бассейнам Паудер-Ривер и Денвер (США), где отложения мезозоя очень хорошо изучены бурением. Поэтому нет оснований утверждать в глобальном плане, что речные отложения развиты более широко в отложениях того или иного геологического периода.

Нефтяное месторождение Ред-Эрт, Альберта

Нефтяное месторождение Ред-Эрт (рис. 23) расположено в северной части Альберты. Добыча нефти производится на нем из отложений Гранит-Уош, которые являются базальной частью палеозойских пород, залегающих непосредственно на эродированной поверхности докембрийского кристаллического фундамента. Возраст отложений Гранит-Уош не установлен. Поскольку они перекрываются ангидритами и доломитизированными карбонатными породами среднедевонской свиты Маскег, по видимому, возраст этих образований раннедевонский. Отложения Гранит-Уош сложены главным образом отсортированными кварцевыми и полевошпатовыми песчаниками, от мелко до грубозернистых разностей, состоящими из обломков от полуокатанных до угловатых. Местами встречаются тонкие прослой пластичных глин, по внешнему виду похожих на озокерит. Из профиля (см. рис. 23) видны особенности залегания среднедевонских нефтесных отложений Гранит-Уош на «выступах» докембрийского фундамента. Мощность этого комплекса варьирует в широких пределах и зависит от рельефа подстилающей его поверхности кристаллического фундамента. Она

сокращается до минимума над его «выступами» и увеличивается до 30 м в «понижениях». Эффективная мощность песчаников достигает 20 м, в среднем она составляет около 5 м. Коллектор характеризуется высокой пористостью, которая местами достигает 120 мД по вертикали и 300—450 мД в горизонтальном

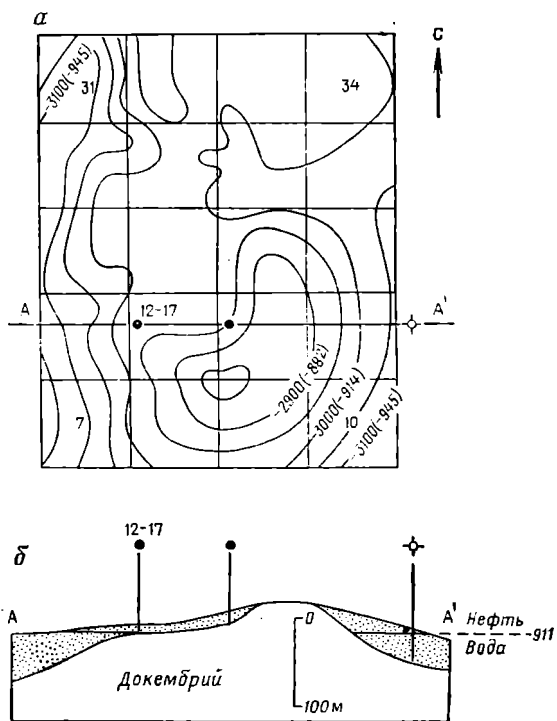


Рис. 23. Структурная карта докембрийской поверхности (а) и профиль по линии А — А' (б) месторождения Ред-Эрт, Альберта [Chilton J. R., 1959; Hunter G. M., 1966; с перенеприетающей] Сечение изогипс 50 футов (15 м)

направлении. Пористость составляет в среднем 14%. Водонефтяной контакт имеет отметку —911 м.

Плотность добываемой нефти 0,835 г/см³. Нефть в основном парафинистая. Содержание серы 0,3%. Суммарные геологические запасы нефти двух самостоятельных залежей месторождения составляют 15 млн. т. Из них 4 млн. т, по-видимому, могут быть извлечены без применения вторичных методов добычи.

Под термином Гранит-Уош следует понимать песчаные отложения, очевидно, кварцевого или полевошпатового состава, которые образовались из принесенных продуктов разрушения гранитных и гнейсовых пород. П. Т. Флаун [Flawn P. T., 1965,

стр. 885] пишет: «Если бы эти отложения не были принесенными осадками и не были «промыты», термины выветрелые граниты, измененные граниты или разрушенные граниты для них были бы более точными». Отложения Гранит-Уош, заполняющие понижения в рельефе фундамента и представленные на месторождении Ред-Эрт плохо отсортированными разностями, были перенесены на очень небольшое расстояние от коренных пород, за счет разрушения которых они образовались. Они, вероятно, были перенесены поверхностными водами, которые стекали по склонам и образовывали дренажную систему вдоль долин, выработанных эрозией в теле докембрийского фундамента. Когда долины были заполнены продуктами разрушения гранитов, возвышенные участки фундамента в конце концов также были погребены под шлейфом отложений Гранит-Уош, выносимых в пределы довольно плоской долины выноса. На этой поверхности наступающее море времени Маскег образовало карбонатную отмель, окаймленную прибрежными отложениями типа сабха, в которых накопились гипсоносные отложения.

Первоначально отложения Гранит-Уош состояли из аллювиальных песков с небольшим количеством алеврита, по-видимому, в большинстве своем представлявших речные образования. Очень мало имеется данных о палеогеоморфологии этой толщи. Можно только предположить возможность существования русел, которые могут содержать скопления углеводородов в комбинированных ловушках в выполняющих их отложениях. Образование ловушек в этих отложениях возможно в результате уплотнения пород над выступами кристаллического фундамента, регионального наклона слоев, а также за счет гидрогеологических факторов.

Нефтяная залежь Мьюзик-Маунтин, Пенсильвания

Залежь Мьюзик-Маунтин (рис. 24) находится в Пенсильвании в округе Мак-Леон. В стратиграфическом отношении она приурочена к верхнедевонским песчаникам Слайвервилл серии Канейдавей. Песчаники кварцевые, средне- и грубозернистые, местами конгломератовые. Слагающие их частицы угловатые и полуугловатые. Пористость их в среднем составляет 13%, проницаемость достигает несколько сотен миллиардари. В толще песчаников встречаются угловатые обломки аргиллитов, напоминающие по внешнему виду обломки высушенных на солнце глин.

На продуктивной площади песчаники Слайвервилл образуют песчаное тело, подобное телу заполнения русла, которое протягивается с северо-востока на юго-запад в пределах периклинали антиклинальной складки. Это песчаное тело прослежено более чем на 6 км. Его ширина составляет 250—300 м, мощ-

Рис. 24. Карта мощности песчанков Слайвервилл (верхний девон, серия Канейдавей) на месторождении Мьюзик-Маунтин, округ Мак-Лейн, Пенсильвания [Fettkе С. R., 1941]

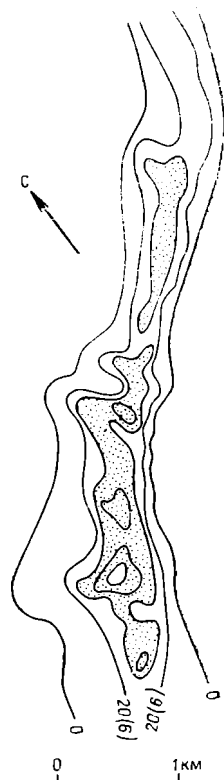
Сечение изопакит 20 футов (6 м)

ность достигает 25 м. Серия Канейдавей, к которой относятся эти песчанки, состоит из чередующихся серых глин и коричневатых песчаников, представленных мелко- и грубозернистыми разностями. К. Р. Фетке [Fettkе С. R., 1944] считает, что отложения этой серии образовались в морской обстановке. В его интерпретации песчанки Слайвервилл представляют собой образования прибрежного бара. Однако характерные особенности песчаных отложений (их грубая зернистость и присутствие гальки, полуугловатая и угловатая форма слагающих их частиц и наличие в их составе угловатых пластинок аргиллитов, напоминающих обломки высушенного ила), свидетельствуют более в пользу их речного образования, чем морского, и позволяют высказать предположение, что песчаное тело Слайвервилл, по-видимому, является образованием дельтовой прогики.

Из залежи Мьюзик-Маунтин добывают нефть и газ. Нефть в основном парафинистая, смолистая. Интересно, что Х. Д. Хедберг [Hedberg H. D., 1968] считает, что образование смолистых нефтей связано, как правило, с песчано-глинистыми толщами неморского, или паралического происхождения. Месторождение эксплуатируется на режиме растворенного газа. В период начала его эксплуатации суточные дебиты нефти и газа составляли соответственно 68 т и 425 тыс. м³.

Газовое месторождение Кабин-Крик, Огайо

Добыча газа и небольшого количества нефти плотностью 0,793 г/см³ производится на месторождении Кабин-Крик в Огайо (рис. 25) из песчаника Бери нижнемиссисипского возраста. На площади месторождения песчаник Бери выполняет широкое извилистое русло, врезанное в отложения, слагающие свиту Бедфорд миссисипского возраста. Ширина этого русла составляет 5—6 км, глубина — 15 м. Оно прослежено по материалам бурения на расстоянии более чем 15 км. По-видимому, это русло является частью дренажной системы, которая протягивалась с севера на юг более чем на 80 км.



В нижней части русла песчаник Бери светло-серый, кварцевый, грубозернистый, местами переходит в песок, содержащий хорошо окатанную гальку. Зерна, слагающие песок, угловатые. В верхней части русла песчаник мелкозернистый, твердый и

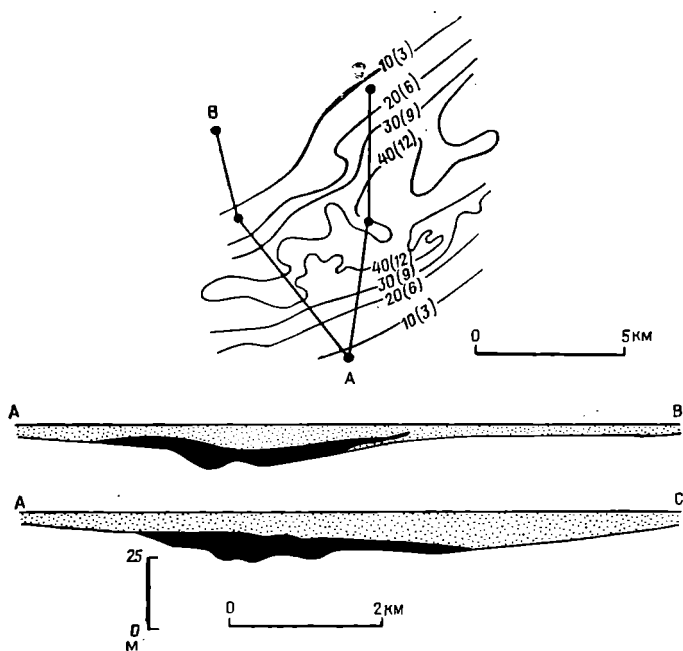


Рис. 25. Карта мощности части песчаников Бери миссисипского возраста, слагающих песчаное тело, на газовом месторождении Кабин-Крик, Огайо [Pepper J. F., De Witt W. and Demarest D. F., 1954]

Сечение изопахит 10 футов (3 м)

плотно сцементирован кварцевым цементом. Из разрезов *AB* и *AC* (см. рис. 25) видны плотно сцементированные кварцевые песчаники сверху и базальные слабо сцементированные газопосные крупнозернистые кварцевые песчаники (залитые) снизу. Пористость окварцованного песчаника составляет всего 4%, в то время как пористость песчаника, залегающего в нижней части русла, в среднем 16%. Из-за своей низкой пористости песчаник верхней части русла является крышкой для залежи газа, содержащейся в нижней части русловых песчаников.

Зона Гей-Спенсер-Ричардсон, Виргиния

В Западной Виргинии добыча нефти и газа ведется из нижнемиссисипских песчаников Бери на месторождениях зоны Гей-

Спенсер-Ричардсон (рис. 26). Месторождения, развитые в этой зоне, приурочены к руслу, выполненному песчаниками Бери, которое протягивается с северо-востока на юго-запад. В зоне

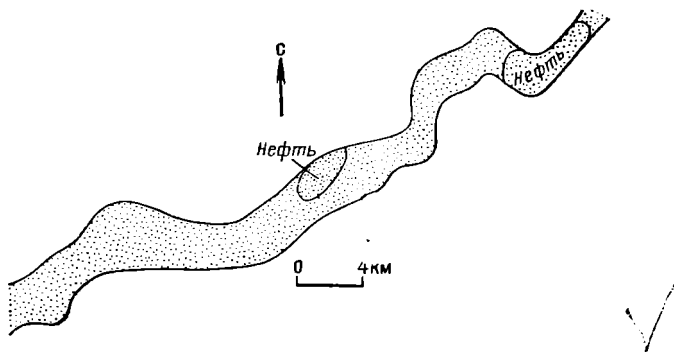


Рис. 26. Распределение добывающихся нефти и газа в песчаниках Бери нижнемиссисипского возраста в округах Джексон, Рон и Калхун, Западная Виргиния [Neck E. T., 1941]

распространения месторождений длина русла достигает 40 км при ширине до 5 км. Далее оно продолжается в северо-восточном направлении еще примерно на 55 км. Песчаники, развитые здесь, сходны по своему составу и строению с песчаниками Бери на месторождении Кабин-Крик в Огайо. Здесь они подстилаются серыми алевритовыми глинами и перекрываются коричневыми глинами, содержащими большое количество обугленных растительных остатков. Контакт между песчаниками Бери и перекрывающими его глинами четко фиксируется обильным появлением пирита.

Добыча газа производится вдоль всей зоны Гей-Спенсер-Ричардсон, которую пересекают антиклинальные складки, простирающиеся с севера на юг. Интересно, что песчаник Бери в этих местах не является водоносным. Поэтому скопления нефти приурочены к синклиналиям. Хотя песчаники и не являются водоносными, в первых эксплуатационных скважинах, вскрывших залежи, были зафиксированы давления, равные гидростатическим для соответствующих глубин. Вначале добыча нефти осуществлялась на режиме растворенного газа. Первоначальные суточные дебиты нефти и газа составляли соответственно 101 т и 283 тыс. м³.

Зона песчаников Бетел, Кентукки

На нескольких нефтяных и газовых месторождениях в западной части Кентукки, включая Мидленд, Сент-Чарльз, Барнсли, Льюзерн, Шейрон-Скул и Элк-Крик, нефть и газ добыва-

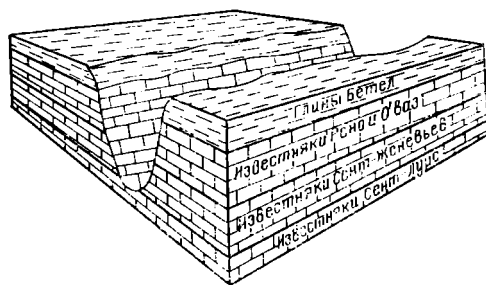
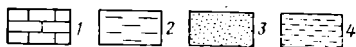
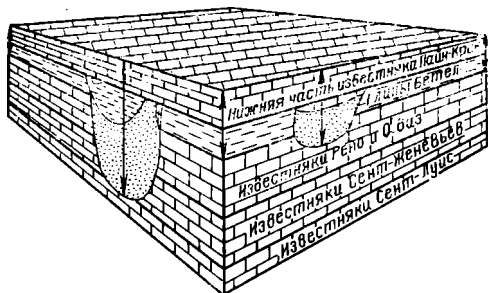
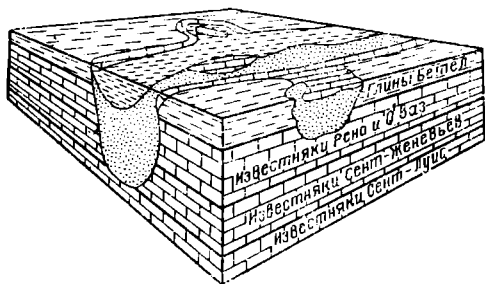


Рис. 27. Схематические блок-диаграммы, показывающие стратиграфические соотношения выполняющих русло верхнемиссисипских песчаников Бетел с перекрывающими их верхнемиссисипскими (честерскими) и подстилающими средне-миссисипскими (мерамекскими) отложениями, Кентукки [Reynolds D. W. and Vincent J. R., 1972]:

1 — известняк; 2 — глина; 3 — песчаник; 4 — известковистый песчаник или глина



ют из верхнемиссисипских песчаников Бетел. Песчаники Бетел заполняют русло (рис. 27), врезанное в средне-миссисипских (мерамекских) известняках и глинах, и перекрываются верхнемиссисипскими известняками серии Честер. Русло, ширина которого достигает 3 км, прослежено на глубине по материалам бурения на расстоянии более чем 160 км в юго-западном направлении от того места, где оно обнажается. По направлению к его юго-западной границе, до которой оно было прослежено, русло разветвляется и содержит несколько нефтяных и газовых скоплений в структурно-стратиграфических ловушках. К их числу относится и газовое месторождение Мидленд. Подобные типы ловушек, содержащие нефть

и газ, обнаружены в песчаниках, выполняющих протоки, врезанные в известняки и глинистые слои, представленные в общем дельтовыми образованиями, возраст которых колеблется от верхнего пенсильвания до нижнепермской серии Сиско в северной части центрального Техаса [Galloway W. E. and Brown L. F., 1973]. Многие из них содержат залежи нефти промышленного значения.

На месторождении Мидленд суммарная мощность песчаников Бетел достигает 75 м, максимальная эффективная мощность 55 м. Средняя проницаемость их равна 117 мД, средняя пористость 13%. Начальные извлекаемые запасы газа, состоя-

шего на 98% из метана на месторождении Мидленд, составляют 4,6 млрд. м³. Кроме газа, на месторождении имеется несколько миллионов тонн тяжелой нефти плотностью 0,910 г/см³. Объем газоносных песчаников оценивается в 666,7 млн. м³.

Нефтяное месторождение Тайлер, Монтана

Добыча нефти на этом месторождении, расположенном в центральной части Монтаны, производится из трех песчаных пластов, залегающих в нижней части свиты Тайлер нижнепенсильванского возраста. Эти песчаные пласты заполняют русло в пределах широкой меандрирующей долины (рис. 28), протя-



Рис. 28. Распределение русловых песчаников (показаны черным) в нижней части свиты Тайлер нижнепенсильванского возраста, Монтана [Kranzler I., 1966]

гивающейся более чем на 500 км в восточном направлении через Центральную Монтану в Северную Дакоту. Долина врезана в толщу, сложенную известняками и глинами свиты Хит миссисипского возраста (рис. 29). Нижние два пласта песчаников залегают на эрозионной поверхности; верхний песчаный пласт, известный под названием песка Стенсвад, залегают стратиграфически выше в разрезе долинных отложений, слагающих нижнюю часть свиты Тайлер. Глубины постмиссисипской долины, в которой залегают отложения нижней части свиты Тайлер, достигают 100 м, ширина — 15 км. Долина выполнена главным образом алевритом и серыми глинами, которые содержат в своем составе большое количество обугленных растительных остатков. Эти отложения — образования пойм и пойменных болот. Мощность песчаных пластов, которые являются мелкозер-

пштыми в кровле, а книзу переходят в галечники и конгломераты, составляет 10—45 м.

Нефть содержится в этих песчаниках в тех местах, где имеются локальные изгибы слоев, образующие ловушки, и песчаники контактируют с известняками свиты Хит, которые, возможно,

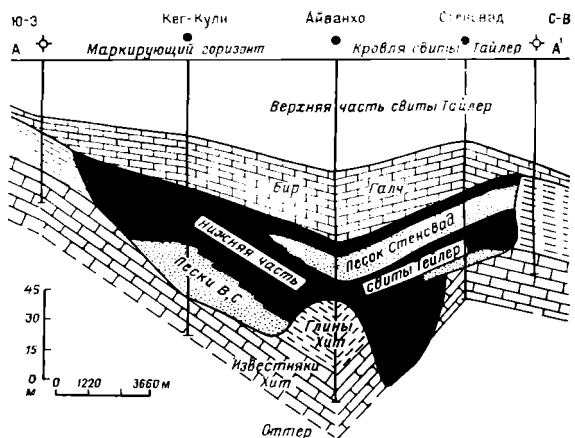


Рис. 29. Разрез эрозионной долины в отложениях свиты Хит миссисипского возраста по линии Кег-Кули — Айванхо — Стенсвад, показывающий стратиграфические соотношения нефтеносных горизонтов песчаников в разрезе базальной части свиты Тайлер нижнепенсильванского возраста [Kranzler I., 1966]

служат нефтематеринскими породами. Основными факторами, контролирующими скопление нефти в этих песчаниках, являются местные изменения проницаемости, линзообразный характер песчаников, структурный фактор и близость их залегания к пластам известняков, через которые нефть мигрировала, а возможно, в них и образовалась.

Суммарные извлекаемые запасы нефти восьми месторождений, на которых ведется добыча нефти из нижней части отложений свиты Тайлер, оцениваются в 10 млн. т.

Нефтяное месторождение Делавэр-Икстеншен, Оклахома

На месторождении Делавэр-Икстеншен в Оклахоме (рис.30) добыча нефти производится из песчаников Бартлсвилл, залегающих в средней части толщи глинистых пород, слагающих свиту Чероки, возраст которой датируется от нижнего до среднего пенсильвания. На площади месторождения выделяется линейно вытянутое песчаное тело, ширина которого составляет 600—1800 м, а мощность достигает 20 м. Это тело прослежено более чем на 10 км. По мнению Дж. Д. Льюиса [Lewis J. D., 1929], оно сложено русловыми образованиями древнего потока, беру-

шего начало на северо-западе и текущего на юго-восток. В. Р. Диллард, Д. П. Ок и Н. В. Басс [Dillard W. R. Oak D. P. and Bass N. W., 1941] с другой стороны, считают, что песчаники Бартлсвилл, развитые на месторождении Чаньют в Канзасе,

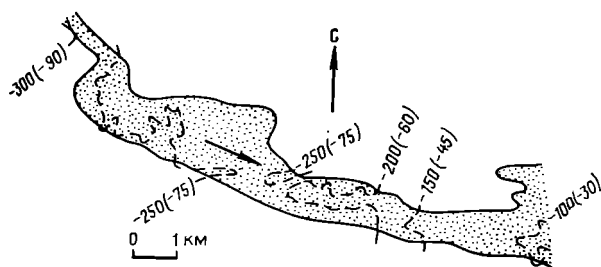


Рис. 30. Карта, показывающая особенности распределения и подземную структуру нефтеносных песчаников Бартлсвилл нижнепенсильванского возраста на месторождении Делавэр-Икстеншен, округ Новата, Оклахома [Lewis J. D., 1929]

Сечение изогипс 50 футов (15 м)

представляют собой образования прибрежного бара. Однако они отмечают, что для песчаников Бартлсвилл характерна косая слоистость, и они непосредственно подстилаются пластом угля. Для паралических условий любая из этих двух точек зрения может быть верной, хотя косослоистые песчаники, перекрывающие угольный пласт, с большим основанием можно отнести к речным образованиям. Дж. Д. Льюис [Lewis J. D., 1929, р. 364] писал: «Пески, продуктивные на месторождении Делавэр-Икстеншен, по условиям своего образования похожи на продуктивные пески, с которыми связаны шнурковые залежи в Восточном Канзасе, простирающиеся с северо-запада на юго-восток». Правильность такой интерпретации подтверждается линзовидными распространениями этих песчаников, что типично для речных отложений. На это обратил внимание Дж. Д. Льюис (стр. 364), который указывал: «В некоторых местах в скважинах, соседних с высокопродуктивными, где была вскрыта мощная песчаная толща, эти пески отсутствуют вовсе».

На месторождении Делавэр — Икстеншен добыча нефти производится с относительно малой глубины. В восточной части месторождения кровля продуктивных песчаников Бартлсвилл находится на 30 м ниже уровня моря и на глубине 40 м от земной поверхности. В западной части месторождения кровля песчаников залегает на глубине 335 м от земной поверхности. В начале эксплуатации месторождения дебиты отдельных скважин превышали 135 т/сут. При этом наиболее высокие дебиты были получены из линз или полос, сложенных хрупкими песчаниками, ответвлявшимися от главного песчаного тела. Дж. Д. Льюис [Lewis J. D., 1929] указывает, что в ряде случаев

новые скважины, пробуренные на эти линзообразные тела, сложенные хрупкими песчаниками, вблизи высокопродуктивных, оказывались малодобитными либо вообще непродуктивными. Это, вероятно, объясняется тем, что продуктивные линзы и полосы представляют собой образования местных русловых потоков, которые были заполнены проницаемыми песками, в то время как латерально примыкающие к ним слои являются образованиями поймы реки и сложены относительно непроницаемыми алевритами. Нефтеносные песчаные тела, представленные на площади месторождения Делавэр-Икстеншен песчаниками Бартлсвилл, протягиваются в западном направлении. По этой причине их считают образованиями баров.

Нефтяное месторождение Буш-Сити, Канзас

На месторождении Буш-Сити нефтеносны песчаники Скиррел, слагающие извилистое протяженное песчаное тело (рис. 31). Оно залегает стратиграфически выше, чем песчаники

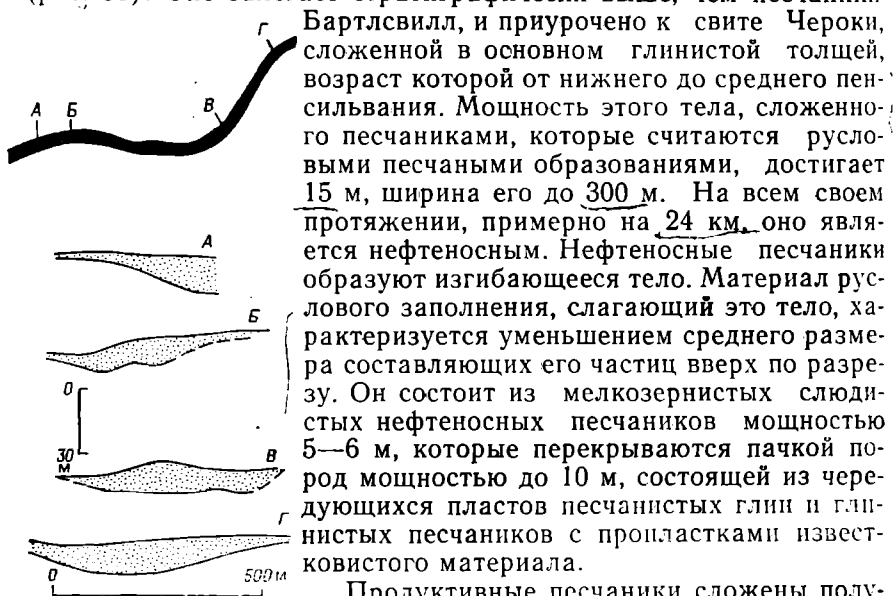


Рис. 31. Карта и разрезы нефтяного месторождения Буш-Сити, округ Андерсон, Канзас [Charles H. H., 1941]

Бартлсвилл, и приурочено к свите Чероки, сложенной в основном глинистой толщей, возраст которой от нижнего до среднего пенсилваня. Мощность этого тела, сложенного песчаниками, которые считаются русловыми песчаными образованиями, достигает 15 м, ширина его до 300 м. На всем своем протяжении, примерно на 24 км, оно является нефтеносным. Нефтеносные песчаники образуют изгибающееся тело. Материал руслового заполнения, слагающий это тело, характеризуется уменьшением среднего размера составляющих его частиц вверх по разрезу. Он состоит из мелкозернистых слюдистых нефтеносных песчаников мощностью 5—6 м, которые перекрываются пачкой пород мощностью до 10 м, состоящей из чередующихся пластов песчаных глин и глинистых песчаников с пропластками известковистого материала.

Продуктивные песчаники сложены полуугловатыми зёрнами. Их пористость колеблется от 17 до 22%, проницаемость достигает 60 мД. Первоначальные дебиты отдельных скважин достигали до 108 т/сут, в среднем составляли 8 т/сут. Нефть, добываемая вначале на режиме растворенного газа, имела плотность 0,850 г/см³.

Хотя наиболее продуктивные скважины и находятся в местах, где играет роль структурный фактор, залежи на

месторождении в основном стратиграфического типа. Они приурочены к ловушкам, образование которых обусловлено ухудшением вверх по восстанию коллекторских свойств продуктивных пластов в результате увеличения в песчаниках в этом направлении содержания глинистого и алевроитового материала, что приводит к резкому снижению их пористости. Наиболее высокодебитные пласты находятся в тех местах, где песчаное тело пересекают слабо выраженные антиклинальные складки, амплитуда которых обычно составляет всего 3—12 м. Региональный наклон слоев на юго-запад в районе развития этого погребенного русла составляет примерно 4 м/км. Глубина залегания продуктивных песчаников обычно колеблется от 200 до 300 м. Интересно, что плотность нефти в нижней части залежи резко увеличивается, достигая 0,973 г/см³. Ниже, по падению пласта, за пределами распространения залежи, не содержится ни нефти, ни воды, т. е. практически отсутствует водонефтяной контакт. С помощью вторичных методов добычи при закачке газа в пласт удалось увеличить дебиты продуктивных скважин. Однако суммарные извлекаемые запасы нефти этого месторождения, по-видимому, не превышают 0,8 млн. т.

Продуктивный песчаник Ред-Форк, Оклахома

На нескольких месторождениях в Северной и Северо-Восточной Оклахоме нефть и газ добывают из среднepenсильванских (десмойнезийских) песчаников Ред-Форк. К таким относятся залежи Саут-Серес, зона Уэйкита, месторождения Шайенн-Валли и Шостринг. Песчаники Ред-Форк примерно того же возраста, что и песчаники Бартлсвилл в разрезе свиты Чероки. Они слагают линейно вытянутые песчаные тела, мощность которых местами достигает 20 м, ширина — 3 км и протяженность — до 50 км. Песчаники кварцевые, представленные тонко- и очень тонкозернистыми разностями. Местами в их разрезе наблюдается некоторое погрубение слагающего их материала к подошве песчаного тела.

В начальный период их изучения ряд исследователей, включая Р. Райта [Wright R., 1941] считали, что песчаники Ред-Форк образовались из прибрежных песков, отложенных морем времени Чероки. Более поздними работами, включая П. К. Уитрова [Withrow P. C., 1968], П. Л. Лайонса и М. Б. Добрина [Lyons P. L. and Dobrin M. B., 1972], было установлено, что песчаники Ред-Форк представляют собой песчаные образования речных русел, в частности те, которые слагают нефтеносные пласты залежи Саут-Серес и месторождений Шайенн-Валли и Шостринг. Продуктивные отложения в зоне Уэйкита, по представлению П. К. Уитрова [Withrow P. C., 1968], являются образованиями прибрежного бара. К этой категории песчаных

тел они и отнесены в данной книге и рассматриваются в соответствующем разделе.

Залежь Саут-Серес (рис. 32) приурочена к песчаникам, выполняющим четко выраженное узкое русло подковообразной

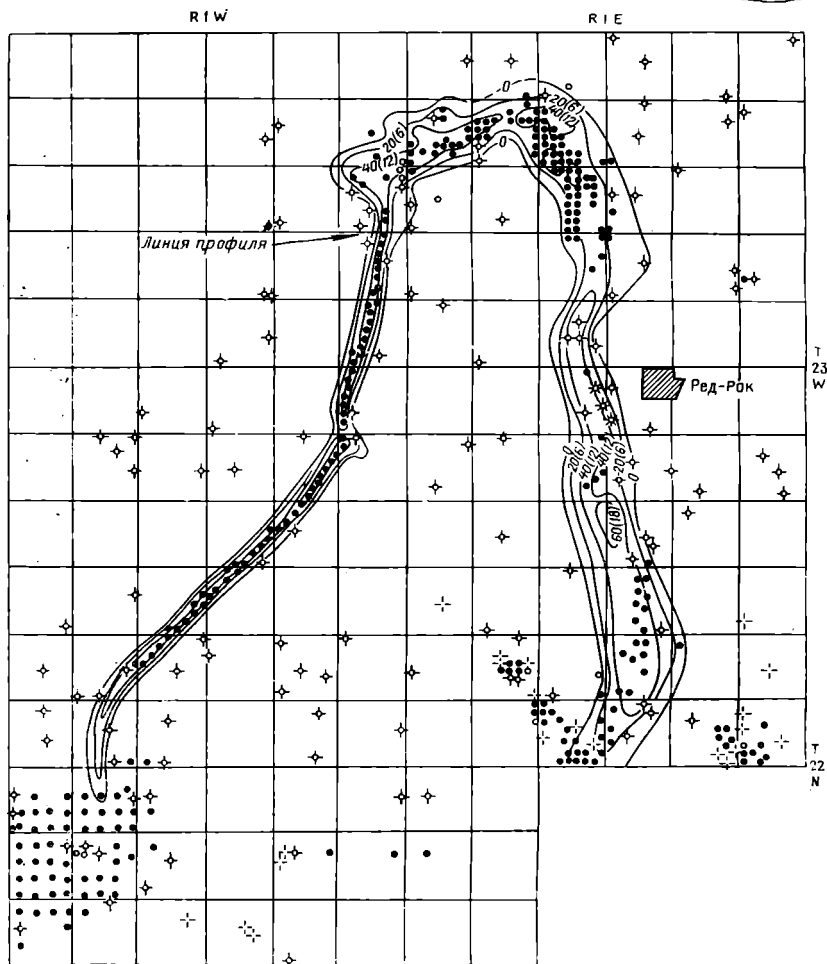


Рис. 32. Карта мощности песчаников Ред-Форк среднепенсильванского возраста на месторождении Саут-Серес, Оклахома
Сечение изопакит 20 футов (6 м)

формы, ширина которого достигает 2 км. Нефть и газ встречаются на всем его протяжении примерно до 40 км. Мощность песчаников обычно составляет до 10 м. В среднем их пористость 20%, проницаемость порядка 100 мД. Интересно, что из нижней части песчаного тела на его западном борту получают нефть

плотностью $0,816 \text{ г/см}^3$, а в верхней части его — в основном газ. Глубина залегания продуктивных песчаников колеблется от 1300 до 1350 м. Разработка залежи ведется на водонапорном режиме. Каждой продуктивной скважиной, которой дренируется примерно 5,7 га, может быть извлечено из залежи, по подсчетам П. Л. Лайонса и М. Б. Добрина [Lyons P. L. and Dobrin M. B., 1972], примерно 10 тыс. т нефти. Максимальное количество нефти, которое может быть добыто из залежи, по-видимому, не превышает 1,4 млн. т.

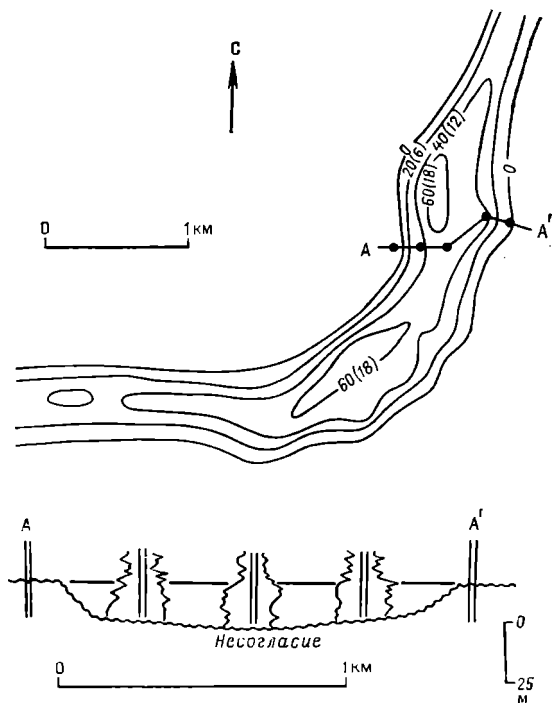
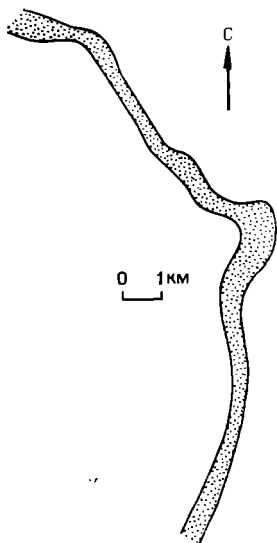


Рис. 33. Карта мощности и разрез песчаников Ред-Форк пенсильванского возраста на месторождении Шайенн-Валли, округ Мейджор, Оклахома
Сечение изогипс 20 футов (6 м)

Месторождение Шайенн-Валли (рис. 33) приурочено к линейно вытянутому телу песчаников Ред-Форк, которое протягивается примерно с востока на запад. Песчанники выполняют русло, врезанное в эродированную поверхность миссисипских отложений. Это тело располагается стратиграфически выше и простирается почти перпендикулярно по отношению к протягивающемуся на юг продолжению полосы Уэйкита (месторождение Окдейл), сложенной прибрежными песками. Следует отметить, что П. К. Уитров [Withrow P. C., 1968] считает верхнюю часть

Рис. 34. Карта, показывающая распределение добычи нефти из песчаников Ред-Форк пенсильванского возраста на месторождении Шострин, округ Павни и Талса, Оклахома [Wright R., 1941]



песчаников Ред-Форк, продуктивных на месторождении Окдейл, образованиями прибрежного бара, а нижнюю часть — речными русловыми отложениями.

Месторождение Шайенн-Валли находится в том месте, где в линейно вытянутой зоне песчаников Ред-Форк наблюдается локальный изгиб к югу, в направлении которого падение слоев составляет 10 м/км. Глубина залегания продуктивных на месторождении песчаных пластов в среднем равна 2075 м, их мощность в среднем превышает 10 м. Суммарные извлекаемые запасы нефти месторождения оцениваются в 9,4 млн. т.

Нефтяное месторождение Шострин (рис. 34) находится в Северо-Восточной Оклахоме. Нефтеносны на нем песчаники Ред-Форк, слагающие песчаное тело, прослеживающееся в северном направлении. По мнению Р. Райта [Wright R., 1941], это песчаное тело представляет собой образование прибрежных песчаников, однако его конфигурация свидетельствует в пользу его речного генезиса. Продуктивный песчаник обычно мелкозернистый, местами алевритистый. Он представлен как плохо сцементированными разностями, так и плотно сцементированными с кальцитовым цементом и сложен полуугловатыми частицами, главным образом из кварца и кремнистого сланца. Нижняя часть песчаного тела обычно является более проницаемой и менее алевритистой. Добыча нефти, плотность которой $0,825 \text{ г/см}^3$, производится в основном насосным способом с небольшим участием режимов растворенного газа и водонапорного. Дебиты продуктивных скважин, каждая из которых дренирует площадь примерно 5,7 га, достигают в среднем 1,4—2 т/сут.

Газовое месторождение Мумба, Южная Австралия

Месторождение Мумба (рис. 35) расположено в бассейне Купер в Южной Австралии. Добыча газа и конденсата осуществляется на нем из пластов песчаников свиты Тулачи, возраст которой датируется от средней до верхней перми. Она является верхней частью серии Гиджалпа. Добыча газа и конденсата производится также и из других песчаных пластов в разрезе серии Гиджалпа. Скопление газа контролируется в основном струк-

турным фактором. Как видно из профиля (см. рис. 35), верхнепермские песчаники перекрывают выступ, сложенный более древними породами палеозоя. Верхнепермские и вышезалегающие

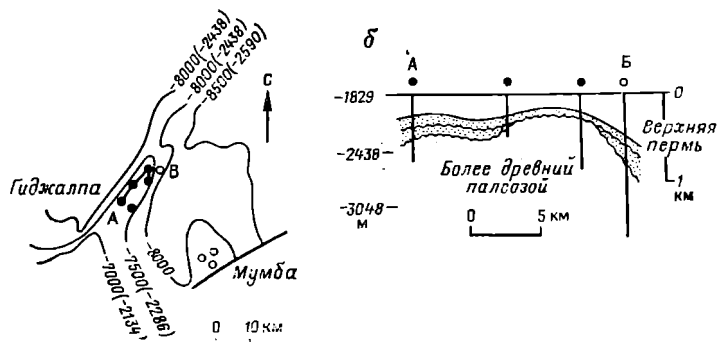


Рис. 35. Структурная карта газоконденсатных месторождений Гиджалпа и Мумба, Южная Австралия (а) и профиль по линии АБ месторождения Гиджалпа (б) [Greer W. J., 1965; Martin С. А., 1967]
Сечение изогипс 500 футов (150 м)

слой образуют антиклинальную складку над блоками фундамента, разбитыми сбросами. Местами изменения проницаемости продуктивных пластов, обусловленные зональностью в процессе седиментации песчаных отложений, также играют важную роль. Свита Тулачи контактирует с нижезалегающими породами по поверхности крупного несогласия, в процессе формирования которой были уничтожены более древние пермские породы. Отложения свиты Тулачи распространены значительно шире, чем подстилающие их более древние песчаники серии Гиджалпа. В. Л. Грир [Greer W. L., 1965] считал, что песчаники серии Гиджалпа были отложены в высокоэнергетической обстановке осадконакопления. На речную природу этих песчаников было указано К. А. Мартином [Martin С. А., 1967] и А. Дж. Карпелем [Kapel A. J., 1972], которые пришли к выводу, что отложения свиты Тулачи представлены речными, озерными и болотными образованиями.

Песчаники, слагающие свиту Тулачи, являются серыми, средне- и грубозернистыми, конгломератовыми, кварцевыми и косослоистыми. В их составе широко развиты обломки изверженных пород. Цемент состоит главным образом из каолинита и иллита. Песчаные пласты переслаиваются со слоями темно-серых, слюдястых, известковистых глин и углей. Мощность свиты Тулачи колеблется от 20 до 40 м. Эффективная мощность песчаников-коллекторов достигает 26 м. Проницаемость их довольно высокая, пористость порядка 10—20%.

Примерная глубина залегания продуктивной толщи на месторождения Мумба составляет 2135 м. На этой глубине пла-

стовое давление равно примерно 211 кгс/см^2 , т. е. является нормальным гидростатическим давлением для осадочного разреза, насыщенного морской водой с верхним пределом солености (55 г/л). В начальный период эксплуатации месторождения суточная добыча газа на нем составляла более 425 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ через штуцер диаметром 12,7 мм. Газ месторождения на 77% состоит из метана с необычно высоким содержанием (до 20%) CO_2 . В его составе содержится конденсат (5,75 кг в 1000 м^3 газа). Доказанные извлекаемые запасы газа месторождения Мумба и соседних с ним месторождений Гиджалпа, Тирраварра и Мурейри составляют 57 млрд. м^3 .

Газовое месторождение Пиканджинни, Квинсленд, Австралия

На месторождении Пиканджинни (рис. 36), расположенном в бассейне Сурат, в провинции Квинсленд, добыча газа и конденсата производится из верхнетриасовых песчаников Шоуграундс и Мулейембер, а также из нижнеюрских песчаников Пресипис.

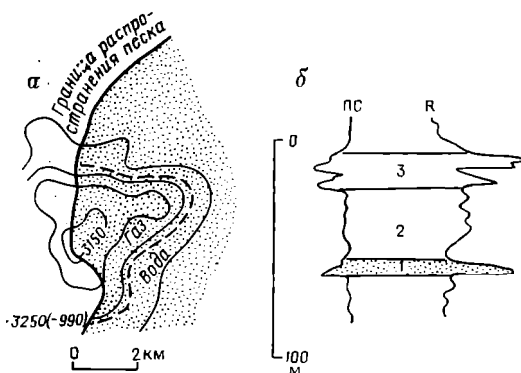


Рис. 36 Структурная карта газового месторождения Пиканджинни (а) и электрокаротажная характеристика продуктивных отложений (б):

1 — верхнетриасовые песчаники Шоуграундс;
2 — верхнетриасовые песчаники Мулейембер; 3 — нижнеюрские песчаники Пресипис [Swindon V. G., 1968]

Сечение изогипс 50 футов (15 м)

[Swindon V. G., 1968], она увеличивается до 15 м вдоль восточного края шельфа Рома.

По данным электрокаротажа, песчаники Шоуграундс и Пресипис в нижней части слагаемых ими песчаных тел представлены более проницаемыми и, по-видимому, более грубозернистыми разностями. Это согласуется с интерпретацией, согласно которой песчаники Шоуграундс и песчаники Пресипис являются речными образованиями. Разделяющие их песчаники Мулейем-

Более половины добычи углеводородов приходится на долю песчаников Шоуграундс. По данным А. Р. Г. Грея [Gray A. R. G., 1969], эти песчаники светло-серые, от средне- до грубозернистых, плохо отсортированные и сложены главным образом полуокатанными зернами кварца. Пористость их в среднем составляет 16%, проницаемость в горизонтальном направлении колеблется от 200 до 2000 мД. Максимальная мощность этих песчаников в пределах месторождения Пиканджинни составляет 6 м. По данным В. Г. Свиндона

бер считаются по своему генезису озерными. Песчаники Шоуграундс залегают с несогласием на подстилающих их отложенных свиты Реван нижнего триаса и образуют речную систему, простирающуюся в юго-восточном направлении. Ловушка, к которой приурочена залежь газа, является структурно-стратиграфической. Она образована в том месте, где граница выклинивавшаяся песчаников Шоуграундс верхнего триаса пересекается структурным носом, отображающим погребенный выступ эродированной поверхности кристаллического фундамента, сложенного изверженными породами. В результате образуется замкнутая ловушка по маркирующему горизонту в разрезе верхнетриасовых песчаников Мулеймбер. Последние перекрываются газоносными песчаниками Пресипис нижнеюрского возраста. Таким образом, границей месторождения, с одной стороны, является барьер, обусловленный резким снижением проницаемости песчаников, а с другой стороны — структурное замыкание.

Доказанные извлекаемые запасы газа месторождения Пиканджинни составляют более 708 млн. м³, из которых примерно 425 млн. м³ содержится в песчаниках Шоуграундс. По своему составу газ на 96% состоит из метана. Начальное пластовое давление в залежи на глубине 1500 м составляло около 134 кгс/см². Месторождение характеризуется устойчивым водонапорным режимом. Содержание солей в воде составляет примерно 5 мг/л, что позволяет относить эти воды к сравнительно пресным — солоноватым.

Нефтяное месторождение Муни, Квинсленд, Австралия

Месторождение Муни (рис. 37) находится на юго-восточном борту бассейна Сурат в Квинсленде. На нем добывают нефть плотностью 0,802 г/см³ из нижнеюрских песчаников Пресипис. В пределах месторождения песчаники Пресипис представлены двумя пачками. Нижняя пачка залегает с несогласием на породах перми и триаса, а верхняя отделяется от нее глинистой толщей. На месторождении Муни суммарная мощность песчаников Пресипис составляет 75 м. Выше над ними залегают алевролиты и аргиллиты нижнеюрского возраста, слагающие свиту Эвергрин.

Обе пачки песчаников Пресипис являются нефтеносными. Верхняя пачка представлена светло-серыми песчаниками от мелко- до среднезернистых, плохо отсортированных, кварцевых с белым каолининовым цементом. Нижняя пачка также сложена светло-серым песчаником от средне- до сильно грубозернистого, местами конгломератового, плохо отсортированного, кварцевого, слабо сцементированного, иногда хрупкого. Пористость песчаников Пресипис в среднем колеблется от 13 до 25%. Проницаемость верхней песчаной пачки в среднем составляет 300 мД, а нижней колеблется в широких пределах — от нескольких сотен до

2000 мД. На месторождении Муни эти две песчаные пачки разделены 30-метровой толщей светло-серых глин и алевролитов, содержащих тонкие прослои песчаников и пропластков углей. Считают, что отложения, слагающие эту толщу, представлены

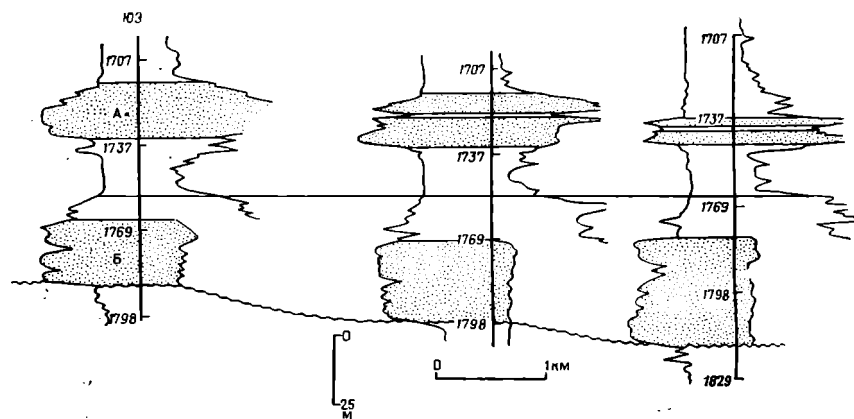


Рис. 37. Геолого-электрический разрез вдоль оси месторождения Муни, Квинсленд.

А, Б — нефтеносные речные пески

осадками поймы реки и озерными образованиями. Обе песчаные пачки (А и Б) сложены речными образованиями. В них широко развита косая слоистость. Для обеих песчаных пачек характерно погрубение слагающего их материала сверху вниз, что обычно присуще речным песчаным образованиям. Это четко фиксируется и на характере кривой ПС, форма которой изменяется от блоковой до колоколообразной (см. рис. 37).

Скопления нефти на месторождении Муни контролируются структурно-стратиграфическими условиями. Залежи приурочены к тем местам, где проницаемые зоны в разрезе песчаников Пресипис залегают на «выступах» эродированных и разбитых сбросами блоков, сложенных отложениями перми и триаса. По маркирующим горизонтам в разрезе песчаников Пресипис фиксируется замкнутая куполовидная складка (10×3 км), имеющая северо-восточное простирание. Геологические запасы нефти месторождения составляют около 16 млн. т, однако начальные извлекаемые запасы, по-видимому, не превышают 4,6 млн. т. Нефть подстилается довольно пресной водой, минерализация которой примерно 2,5 мг/л, что свидетельствует о наличии гидродинамических условий. Добыча нефти осложняется прорывом пластовых вод в нефтенасыщенную часть коллектора.

Битуминозные пески Атабаска, Альберта

Битуминозные пески Атабаска (рис. 38) представляют собой пропитанные нефтью пески в разрезе свиты Мак-Марри ниже-

мелового возраста в Альберте. Эти песчентированные или слабо сцементированные пески, которые залегают на известняках девонского возраста, имеют пологий региональный наклон в западном направлении. В результате этого они обнажаются

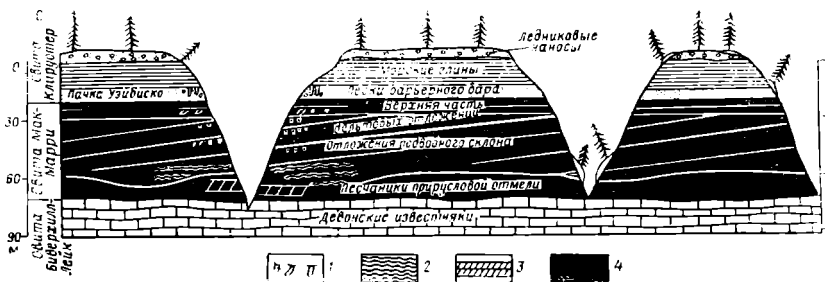


Рис. 38. Схематический разрез битуминозных песков Атабаска нижнемеловой свиты Мак-Марри, Альберта

1 — ходы червей; 2 — косая микростратификация; 3 — диагональная (косая) слоистость с высокими углами наклона; 4 — битуминозные пески

или залегают близко от земной поверхности на обширной территории. Местами пески можно разрабатывать открытым способом, что и осуществляется в некоторых местах в настоящее время. В других местах, где они залегают довольно глубоко, добыча нефти из них зависит от использования таких методов, как горячая обработка или закачка пара, либо использование растворителей. Нефтеносные пески представлены кварцевыми разностями. Они являются речными и озерными образованиями. Мощность базальной толщи песков составляет 10—13 м. Эти пески представляют собой речные образования. Они представлены грубыми и очень грубыми разностями и обычно содержат в своем составе линзы грубого песчаника и мелких конгломератов, состоящих из плохо окатанной гальки. В них развита косая слоистость, которая обычно встречается в отложениях прирусловых отмелей. Эти песчаники перекрываются 30—40-метровой толщей песков и алевритов, пропитанных в различной степени окисленной нефтью. Степень нефтенасыщенности песков зависит от величины их первоначальной пористости и проницаемости. Наиболее высоко насыщены нефтью чистые хорошо отсортированные речные пески. Максимальная нефтенасыщенность составляет 18—20% от общей нефтенасыщенности песков.

Свита Мак-Марри, возраст которой датируется неокомом, перекрывается морскими отложениями нижнемелового (альбского) возраста, слагающими свиту Клируотер. Базальная пачка последней известна под названием пачки Уэйбиско. Эта пачка,

как показано на рис. 38, частично сложена песками барьерного бара. Несомненно, это песок, отложенный трансгрессирующим морем. Мощность свиты Мак-Марри колеблется от 50 до 100 м. Большая часть слагающего ее песчаного материала приурочена к нижней части свиты. Породы этой свиты отложены речной системой, которая была развита в пределах докембрийского щита, расположенного к востоку. Воды ее текли в северо-западном направлении к морю, существовавшему там в период Клируотер. Последующая трансгрессия этого моря привела к захоронению отложений, слагающих свиту Мак-Марри песками и алевритами Клируотер.

Региональный наклон отложений, слагающих свиту Мак-Марри, составляет менее 2 м/км. Он, по-видимому, был достаточным, чтобы нефть мигрировала вверх по восстанию пластов до ее современного местонахождения. В то время эта обширная моноклиналь была единственным структурным элементом, в пределах которого произошло такое крупное скопление нефти. Условия, контролировавшие местное скопление нефти в коллекторе, полностью определились стратиграфическими факторами. Много работ было опубликовано различными исследователями [Copebeare С. Е. В., 1966] о возможном генезисе этой нефти. Однако до сих пор эта проблема не нашла удовлетворительного объяснения. Хотя вопрос о генезисе этой нефти, возможно, представляет лишь научный интерес, решение проблем, касающихся добычи нефти из линзообразных песчаных тел, характеризующихся различной проницаемостью и разной нефтенасыщенностью, во многом зависит от применения в будущем наиболее оптимальных подземных методов разработки. Эти проблемы можно будет решить по мере накопления достаточной информации о глубинном строении в результате бурения, что позволит выяснить закономерности распространения проницаемых зон и их зависимость от условий седиментации базальных песчаных тел свиты Мак-Марри в отложениях речной системы.

Подсчитано, что на площади к северу от Форт-Мак-Марри в битуминозных песках Атабаска содержится 41 млрд. т. нефти. Дополнительные запасы нефти содержатся и в других местах Северной Альберты, где известны битуминозные пески. Суммарные геологические запасы нефти, заключенные в этих песках, по-видимому, составляют 68—81 млрд. т. Однако вопрос, сколько в конечном счете может быть из них добыто нефти с экономической выгодой, остается открытым. Возможно, экономически рентабельным окажется извлечение менее 27 млрд. т.

Нефть занимает до 90% порового пространства водоносных кварцевых песков. Ее можно отделить от породы с помощью обработки паром или горячей водой. Плотность этой нефти 1 г/см³. В основе своей она нафтенового типа и характеризуется высоким содержанием серы, азота и редких элементов.

Добыча нефти на месторождениях Белшилл-Лейк и Хофден в восточной части Центральной Альберты производится из стратиграфических ловушек в отложениях нижнемеловых (неокомских) песчаников Эллерсли. Эти песчаники образовались из речных песков, отложенных в широкой долине (рис. 39). Долина врезана в девонские карбонатные породы и глины, имеющие региональный наклон. Длина долины более 150 км, ширина колеблется от 15 до 65 км. Ее окончание фиксируется в пределах площади дельты Эллерсли. Долина протягивается в восточном направлении, откуда поступал в нее материал с докембрийского щита. Наличие тяжелых минералов в составе песчаников Эллерсли свидетельствует о том, что пески образовались за счет разрушения гранитов докембрийского возраста.

Скопления нефти в песчаниках Эллерсли приурочены к возвышенностям рельефа (т. е. погребенным холмам, сложенным песчаниками), которые образуют замкнутые структурные формы. Эти возвышенности считались вначале песчаными баррами. Такое представление основывалось как на их форме, так и на том, что они были ограничены по периферии глинами и тонкими пластами известняков, в которых содержались фораминиферы и остракоды. Лишь позднейшими работами Ч. Э. Б. Конибира и Р. Мартина [Conybeare C. E. B. 1964, 1972 and Martin R., 1966] было установлено, что эти возвышенности являются структурно приподнятыми частями эродированных речных террас (рис. 40), и долина реки была впоследствии затоплена эстуариевыми водами. Это привело к возникновению здесь солоноватых вод и образованию обстанов-

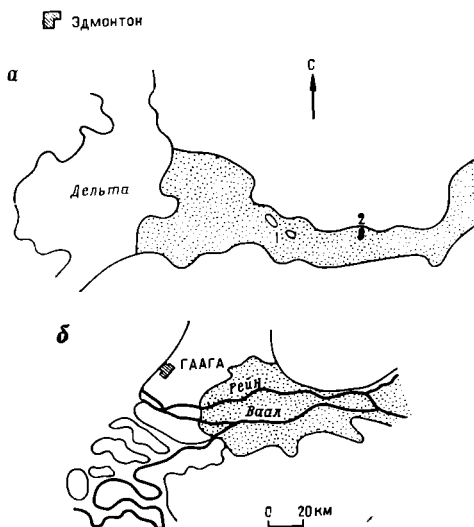


Рис. 39. Распределение песчаников Эллерсли нижнемелового возраста, заполняющих широкую долину, врезанную в девонские карбонатные, глинистые породы (заполнено крапом), в восточной части Центральной Альберты (а) и речных песков и алевроитов, заполняющих широкую долину, прорезанную в плейстоценовых отложениях в нижних частях рек Рейна и Ваала в Нидерландах (б) (из геологической карты Нидерландов, составленной геологической службой Нидерландов, 1951]

Месторождения: 1 — Белшилл-Лейк, 2 — Хофден

ки, характерной для прибрежных болот, в которой произошло отложение глинистых осадков, образующих в настоящее время относительно непроницаемую покрывку над песчаными отложениями Эллерсли. По своей форме и размерам эта речная долина неокомского времени, выполненная аллювиальными и дельтовыми отложениями, поразительно похожа на современную долину Рейна в Нидерландах (см. рис. 39).

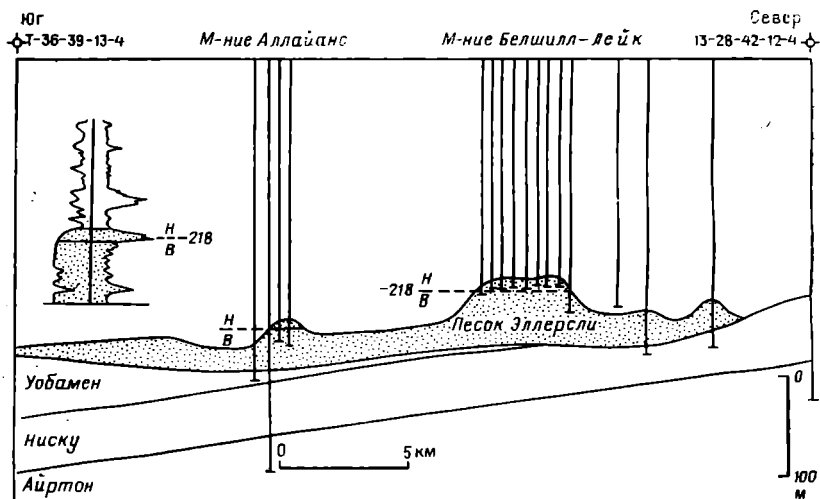


Рис. 40. Профиль с севера на юг через месторождения Белшилл-Лейк и Аллаианс в восточной части Центральной Альберты. Электрокаротажная характеристика по данным Дж. К. Рудольфа [Rudolph J. C., 1960]

На рис. 40 видно, что нефтегазоносные песчаники Эллерсли залегают на эродированной поверхности карбонатных пород, сложенных отложениями свит Уобамен и Ниску. Слева показаны электрокаротажные кривые скв. 6—32 Мак-Леннан, пробуренной на месторождении Белшилл-Лейк компанией Ричфилд.

Мощность песчаников Эллерсли достигает 75 м. Они кварцевые, обычно представлены средне- и грубозернистыми разностями. Слагающие их частицы довольно хорошо отсортированы. Для них обычно наличие косой слоистости, лежащей в одной плоскости, что характерно для речных отложений прирусловых отмелей. В разрезе песчаников неоднократно повторяется закономерное чередование слагающих их разностей. Внизу, как правило, наблюдаются грубозернистые разности, которые вверх переходят в тонкозернистые. Наблюдаются также размывы в отдельных интервалах песчаников Эллерсли. Пористость и проницаемость коллекторов довольно высока. Местами она снижается из-за вторичной цементации кальцитом. По данным Дж. К. Рудольфа [Rudolph J. C., 1959], средняя пористость коллекто-

ров на месторождении Белшилл-Лейк превышает 26%, а средняя проницаемость составляет 630 мД. Местами проницаемость увеличивается до 7000 мД.

На месторождении Белшилл-Лейк максимальная мощность нефтенасыщенной части пласта-коллектора составляет 16 м, а средняя — 10 м. Водонефтяной контакт имеет абсолютную отметку — 218 м. В начальный период эксплуатации дебиты отдельных скважин составляли 14—27 т/сут, однако позднее они снизились до 3,4 т/сут. Плотность нефти составляет 0,887 г/см³. Геологические запасы нефти месторождения оцениваются в 24 млн. т. Однако трудности, возникшие при его разработке в связи с малой эффективностью водонапорного режима, по-видимому, позволят извлечь из него менее 4,8 млн. т.

Месторождение Хофенден расположено в восточной части Центральной Альберты. На рис. 41 приведены его карта и профиль. Из них видно распределение песчаников Эллерсли нижне-мелового возраста (заштриховано), занимающих петлю U-образной формы в речной долине в пределах эродированных карбонатных пород и глин девонских свит Ниску и Айртон. Региональное падение слоев на юго-запад указано стрелкой. Месторождение находится в наиболее приподнятой части площади [Martin R., 1966].

Месторождение Хофенден (см. рис. 41) содержит в своих недрах 2 млн. т. нефти. Однако, как считает Х. Суэй [Suey H., 1960],

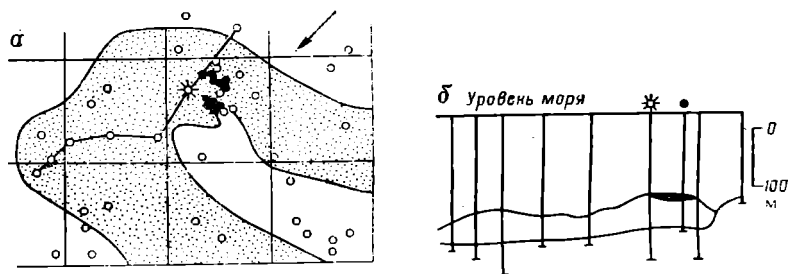


Рис. 41. Карта (а) и профиль (б) месторождения Хофенден, восточная часть Центральной Альберты [Martin R., 1966]

только 200 тыс. т нефти из них может быть извлечено. Максимальная мощность нефтенасыщенных песчаников в разрезе месторождения составляет 11 м, а в среднем она равна 7 м. Нефть тяжелая, ее плотность 0,953 г/см³. Добыча нефти в начальный период эксплуатации составляла 4 т/сут.

Нефтяное месторождение Саут-Гленрок, Вайоминг

Часть добываемой нефти на месторождении Саут-Гленрок (рис. 42), которое расположено на юго-западном борту бассейна

Паудер-Ривер в Вайоминге, приходится на долю русловых песчаников, залегающих в нижней части свиты Мадди нижнемелового возраста. Русла врезаны в эродированную поверхность морских отложений нижнемелового возраста, слагающих свиту

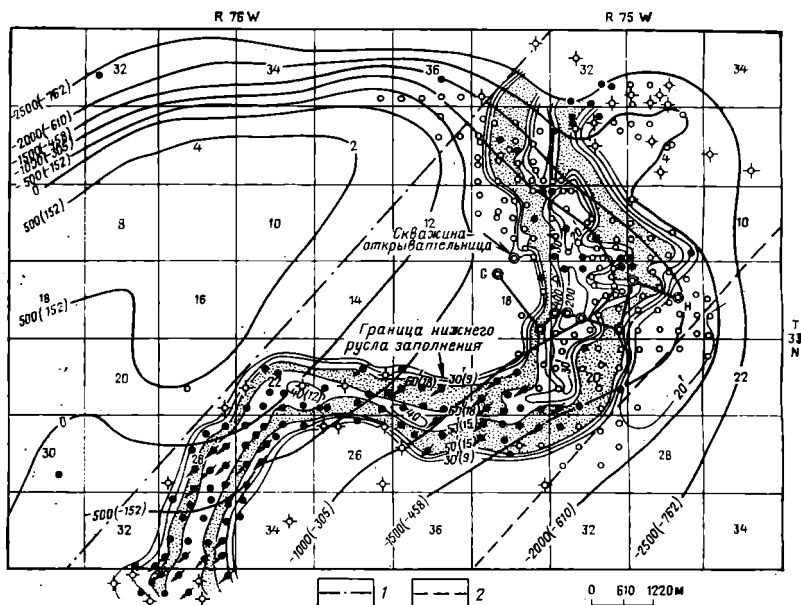


Рис. 42. Структурная карта месторождения Саут-Гленрок, Вайоминг и карта мощностей нижнемеловых песчаников Мадди [Curry W. H. and Curry W. H. III, 1972]

1 — северо-западная граница меандрирующего пояса; 2 — юго-восточная граница меандрирующего пояса.

Скалл-Крик. Они образуют меандрирующий пояс, ширина которого около 3 км, а длина более 2 км. На рис. 42 показаны два русла заполнения в пределах одного меандрирующего пояса.

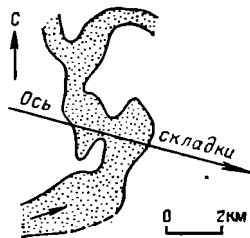
Песчаные тела, выполняющие эти русла, достигают мощности до 20 м и состоят главным образом из довольно хорошо окатанных и хорошо отсортированных зерен кварца и кремнистого сланца, которые сцементированы в основном глинистым цементом. В песчаниках встречаются многочисленные обугленные растительные остатки. Размер слагающих песчаники зерен изменяется от более грубых в их нижней части до более тонких в верхней. Пористость песчаников составляет в среднем 14 %, проницаемость в среднем равна 82 мД.

Добыча нефти производится с глубины от 1700 до 1800 м. Плотность нефти 0,840 г/см³. После открытия месторождения в 1950 г. извлекаемые запасы нефти на нем оценивались в 6,8 млн. т. Эта оценка основывалась на возможности эксплуатации трех

продуктивных горизонтов (снизу вверх): 1) песчаных образований распределительных рукавов и вдольбереговых песков, которые слагают свиту Дакота; 2) речных песчаных пород, составляющих нижнюю часть свиты Мадди, и 3) более молодых по возрасту вдольбереговых песков, слагающих верхнюю часть свиты Мадди.

Более поздние оценки, сделанные В. Х. Карри и В. Х. III Карри [Curry W. H. and Curry W. H. III, 1972] показали, что извлекаемые запасы нефти месторождения при использовании заводнения могут составить 10 млн. т. Образование месторождения обусловлено сочетанием стратиграфического и структурного факторов. Скопления нефти находятся в ловушках, которые образовались в местах пересечения русла осями антиклинальных складок или структурных носов (рис. 43).

Рис. 43. Карта нефтяного месторождения Саут-Гленроок, расположенного на юго-западном борту бассейна Паудер-Ривер в восточной части Центрального Вайоминга [Curry W. H. and Curry W. H. III, 1954]. Заполненная крапом полдса указывает распространение чистых проницаемых песчаников в нижней части свиты Мадди нижнемелового возраста. Стрелка указывает направление переноса осадков



Следует отметить, что водонефтяной контакт в продуктивных песчаниках, слагающих свиту Дакота в пределах южной части месторождения, на 225 м наклонен вниз по падению в восточном направлении вдоль шарнира структурного носа. Это свидетельствует о наличии здесь гидродинамических условий с весьма резким потенциометрическим градиентом.

Нефтяное месторождение Риклус, Вайоминг

Месторождение Риклус (рис. 44, 45) находится в Вайоминге. Оно расположено на северо-восточном борту бассейна Паудер-Ривер. Добыча нефти на нем производится из песчаников Риклус, залегающих в нижней части свиты Мадди нижнемелового возраста на глубине примерно 2300 м. По мнению Дж. Уонсика [Wonsik J., 1972], эти песчаники, которые также нефтеносны на соседних месторождениях Ист-Сандбар, Хайлайт и Китти, являются морскими вдольбереговыми песчаными образованиями, возможно, образованиями барьерного острова. По представлениям Дж. М. Форготсона и П. Х. Старка [Forgotson J. M. and Stark P. H. 1972], эти песчаники представляют собой заполнение русел. Это песчаное тело состоит из двух горизонтов, в каждом из которых на месторождении Риклус имеется свой водонефтяной контакт. Песчаное тело протягивается к северо-за-

паду более чем на 24 км, ширина его достигает 5 км. На рис. 45 видно линейное распределение песчаников. Месторождение Риклус находится в том месте, где мощность их равна 9 м. Размеры месторождения составляют примерно 12×3 км. Максимальная мощность песчаников 15 м, их эффективная мощность 8 м. Пес-

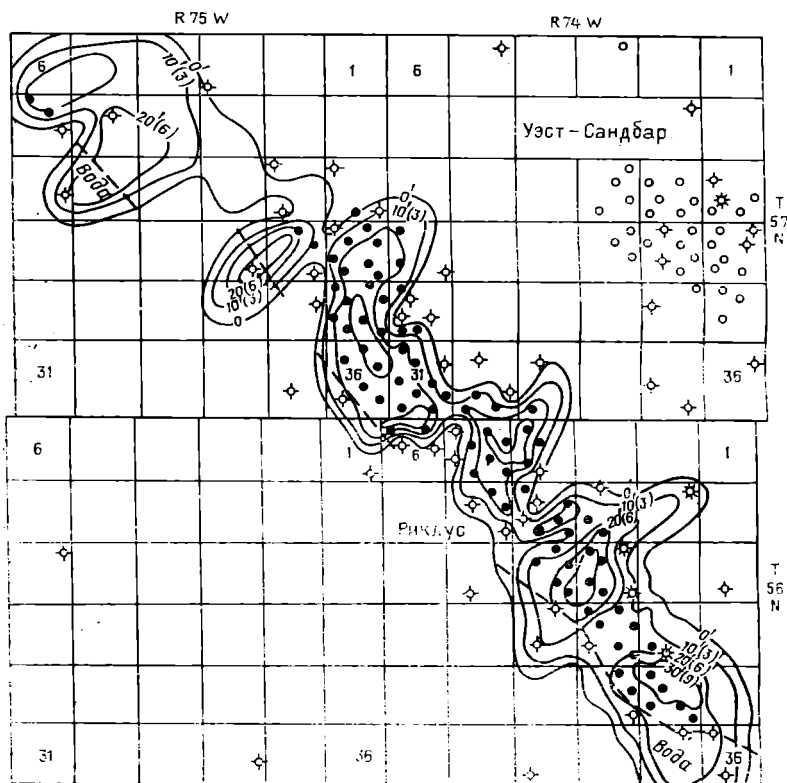


Рис. 44. Карта мощности нижнемеловых песчаников свиты Мадди, месторождение Риклус, Вайоминг [Wonsick J., 1972].

Сечение изопакит 10 футов (3 м)

чаники кварцевые, средняя их пористость равна 19%, а средняя проницаемость — 300 мД. Пластовое давление в коллекторе равно 151 кгс/см². Оно ниже гидростатического, соответствующего данной глубине.

Добыча нефти на месторождении составляет 41 т/сут. Плотность нефти 0,816 г/см³. К началу 1973 г. на месторождении уже было добыто 2,3 млн. т нефти. Геологические запасы нефти месторождения оцениваются в 20 млн. т. Из них экономически рентабельно может быть извлечено 20—40% (4—8 млн. т), что определяется в основном свойствами коллектора, которые опре-

деляют мероприятия по поддержанию пластового давления. Разработка месторождения осуществляется на режиме растворенного газа. Часть песчаного тела вниз по его падению не полностью насыщена водой. Скопления нефти на месторождении связаны с ловушками стратиграфического типа. Ловушки обра-

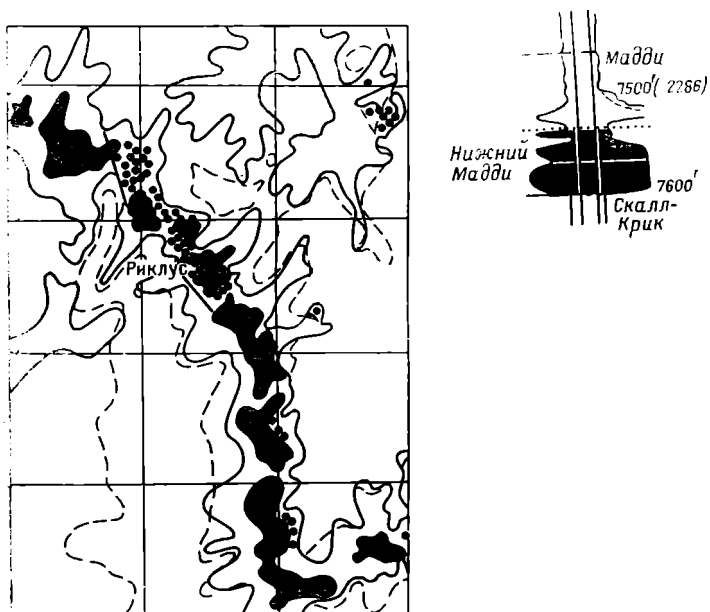


Рис. 45. Карта изолит верхних песчаников Риклус и песчаников Риклус, которые слагают нижнюю часть свиты Мадди [Stone W. D., 1972]

зованы в результате существования непроницаемых барьеров, вызываемых выклиниванием песчаников. Единственным структурным элементом является наличие моноклинали с региональным наклоном слоев в юго-западном направлении. Однако В. Д. Стоун [Stone W. D., 1972] отмечает, что в некоторых местах скопления нефти в нижней части отложений, слагающих свиту Мадди, приурочены к комбинированному ловушкам, образованным выклиниванием песчаников и наличием в этих местах структурных носов, которые пересекают распределительные рукава (см. рис. 45).

*Нефтяные месторождения Донки-Крик,
Розет и О'Коннор, Вайоминг*

На нескольких нефтяных месторождениях, расположенных на восточном борту бассейна Паудер-Ривер в Вайоминге, добыча нефти осуществляется из песчаников Ньюкасл нижнемелово-

го возраста (рис. 46). Р. В. Стапп [Stapp R. W., 1967] установил, что песчаные образования Ньюкасл, мощность которых в среднем составляет 9 м, были отложены в разветвляющейся речной системе, воды которой текли с севера. Эта речная система была сформирована практически одновременно с той речной системой, в которой были отложены базальные пески, залегающие в нижней части свиты Мадди на месторождении Саут-Гленрок (см. рис. 42) к югу. Об этом свидетельствует тот факт, что русла этой системы также врезаны в эродированную поверхность морских отложений свиты Скалл-Крик нижнемелового возраста, как и на месторождении Саут-Гленрок. Стратиграфический разрез восточного борта бассейна аналогичен разрезу месторождения Саут-Гленрок, расположенного на южном его борту. Коллекторы в разрезе нижнемеловых слоев имеются не только в разрезе песчаников Ньюкасл, но и в подстилающих их песчаниках Фолл-Ривер, образовавшихся в прибрежно-морских условиях (пески распределительных протоков и береговые пески) и в вышележающих трансгрессивных морских образованиях, представленных песчаниками Динсон. Скопления нефти в песчаниках Ньюкасл приурочены к более проницаемым зонам в составе песчаных пластов, где последние выклиниваются вверх по вос-

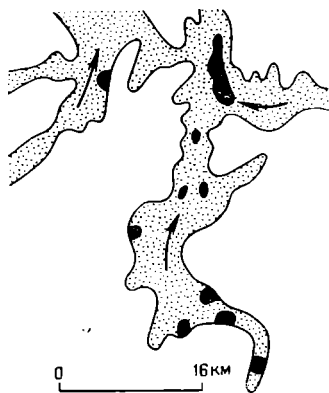


Рис. 46. Дендритообразное распределение песчаников Ньюкасл нижнемелового возраста в пределах участка бассейна Паудер-Ривер.

Площади, где песчаник Ньюкасл нефтеносен, показаны черным цветом. Стрелка указывает, что материал, за счет которого образовались песчаники Ньюкасл, поставлялся рекой, текущей в северном направлении [Stapp R. W., 1967]

стоянию. Следовательно, контролирующие залежи ловушки являются чисто стратиграфическими. Р. В. Стапп [Stapp R. W., 1967, р. 2055] сделал следующий вывод: «Скопления нефти присутствуют в зоне выклинивания вверх по восстанию морских песчаников покровного типа, слагающих свиту Динсон, русловых песчаников свиты Ньюкасл и комплекса песчаников, представленных прибрежно-морскими образованиями свиты Фолл-Ривер. Для успешного поиска стратиграфических ловушек в этих отложениях необходимо знать условия седиментации этих пород».

Нефтяные месторождения Койот-Крик и Миллер-Крик, Вайоминг

Месторождения Койот-Крик и Миллер-Крик (рис. 47) также расположены на восточном борту бассейна Паудер-Ривер в Вайоминге, примерно в 15 км соответственно к юго-востоку и северо-востоку от месторождения Розет. На этих месторождениях про-

дуктивны песчаники Фолл-Ривер нижнемелового возраста, которые залегают в разрезе примерно на 60 м ниже песчаников Ньюкасл. Р. В. Стапп [Stapp R. W., 1967] указывает, что в составе песчаников Фолл-Ривер имеются три самостоятельных

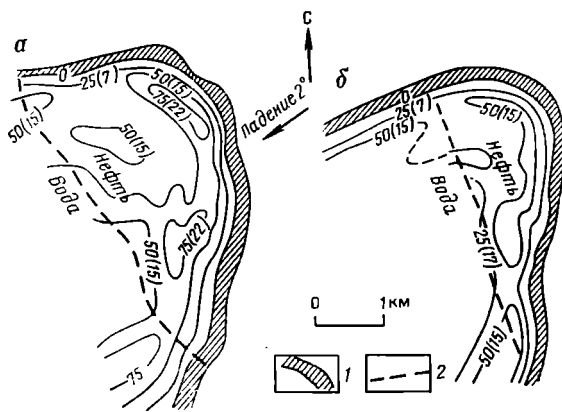


Рис. 47. Карты эффективных мощностей песчаников в разрезе продуктивных песчаников Фолл-Ривер нижнемелового возраста на месторождениях Койот-Крик (а) и Миллер-Крик (б), округа Крук, Уэстон, Вайоминг [Berg R. R., 1968; Truchot T. F., 1963].

Сечение изоплахит 25 футов (7,5 м)

1 — тела руслового заполнения, 2 — водонефтяной контакт

песчаных тела, которые в некоторых местах сливаются, как это наблюдается на отдельных участках месторождения Койот-Крик, образуя единую пористую толщу мощностью примерно 25 м. В других местах пористость песчаников Фолл-Ривер достигает 50 м. Р. В. Стапп считает, что эти песчаные образования были отложены в прибрежно-морских условиях. При этом песчаники, слагающие два нижних песчаных тела, являются образованиями береговых песков регрессирующего моря. Песчаники, слагающие верхнее песчаное тело, считаются базальной пачкой морской трансгрессивной толщи, выделяемой под названием свиты Скалл-Крик. Напротив, Р. Р. Берг [Berg R. R., 1968] считает, что песчаные тела Фолл-Ривер сложены, по крайней мере частично, отложениями прирусловых отмелей и распределительных дельтовых протоков, которые ограничены с боков глинистыми песчаниками, образовавшимися в пределах того же самого русла. На стр. 2116 он пишет: «Поскольку отложения свиты Фолл-Ривер в большинстве своем представлены морскими и дельтовыми образованиями, считалось, что содержащиеся в их разрезе песчаные коллекторы были отложены в прибрежных (литоральных) условиях, вероятно, являясь песками барьерных баров, окаймляемых лагунными глинами. Однако недавно Д. Е. Меттлером [Met-

tlter D. E., 1966] применительно к месторождению Уэст-Муркрофт и Д. В. Больярдом и А. А. Мак Грегором [Bolyard D. W. and McGregog A. A., 1966] применительно к месторождению Койот-Крик было высказано предположение, что эти песчаники являются речными образованиями». По представлениям Д. В. Больярда и А. А. Мак-Грегора, песчаники Фолл-Ривер, слагающие песчаные тела, являются образованиями прирусловых отмелей, связанных с фронтом дельты. На стр. 2238 эти исследователи пишут: «По характеру литологии, наличию косой слоистости, присутствию борозд на глинах и другим характеристикам эти песчаники сходны с мощными массивными русловыми песчаниками, которые наблюдаются в обнажениях. Очень трудно составить убедительную схему фациальных соотношений, которая согласовалась бы с интерпретацией обстановки, соответствующей формированию этих отложений как образований морского бара, барьерного острова или пляжных отложений».

На месторождениях Койот-Крик и Миллер-Крик цвет песчаников Фолл-Ривер изменяется от светло-серого до белого. Они кварцевые, представлены мелко- и среднезернистыми разностями. Слагающий их материал хорошо отсортирован. По всему интервалу песчаников широко развиты обугленные растительные остатки. Эффективная мощность коллектора составляет 10—15 м, пористость его 15—18%, а проницаемость в среднем равна 200 мД, но местами увеличивается до 1000 мД. На обоих месторождениях, как считает Р. Р. Берг [Berg R. R., 1968], нефтеносны отложения, слагающие участки прирусловой отмели речного меандрирующего пояса, который протягивается в направлении с севера на юг более чем на 50 км. Помимо вышеупомянутых, к этой зоне приурочено еще несколько нефтяных месторождений, продуктивные пласты которых сложены породами, имеющими аналогичное происхождение.

Извлекаемые запасы нефти месторождений Койот-Крик и Миллер-Крик оцениваются соответственно в 2,7 и 0,7 млн. т. Плотность нефти на месторождении Койот-Крик равна 0,820 г/см³, на месторождении Миллер-Крик — 0,860 г/см³. Коэффициент извлечения нефти на этих месторождениях составляет от 17 до 28 т/тыс. м³ породы. Месторождение Койот-Крик разрабатывается на активном водонапорном режиме. На месторождении Миллер-Крик добыча нефти осуществляется как на водонапорном режиме, так и на режиме растворенного газа. Площади месторождений Койот-Крик и Миллер-Крик равны соответственно около 809 га и 405 га.

Зона Реймерс — Лейн — Харт, Небраска

В бассейне Денвер, в пределах Западной Небраски, нефтяные месторождения Реймерс, Форо, Дальтон, Лейн, Дип-Крик и Харт образуют зону, протягивающуюся с севера на юг (рис. 48).

Зона связана с линейно вытянутым песчаным телом нижнемелового возраста. Это тело выполняет русло, врезанное в пачку *J*, которая перекрывается глинами Хантсмен нижнемелового возраста и подстилается отложениями, слагающими свиту Скалл-Крик, также нижнемелового возраста. Как перекрывающие, так

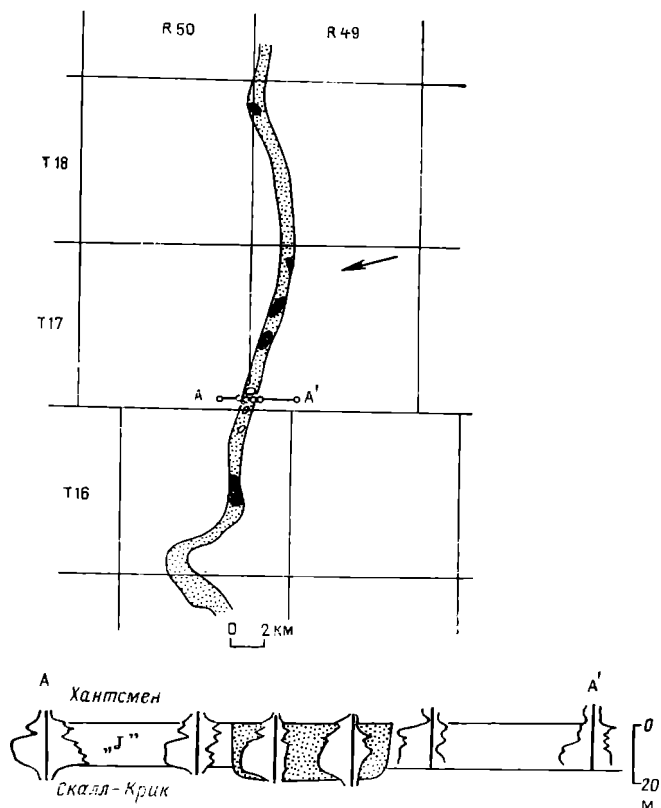


Рис. 48. Карта и разрез, на которых показаны скопления нефти в речных отложениях, представленных песчаниками *J* нижнемелового возраста, заполняющих долину в бассейне Денвер, Небраска.

Стрелка указывает направление регионального падения слоев [Harms J. C., 1966]

и подстилающие отложения представлены морскими образованиями. Русло местами врезано также и в отложения свиты Скалл-Крик. Ширина его в среднем около 450 м, глубина 15—20 м и протяженность более 30 км.

Выполняющие русло песчаники преимущественно светло-серые, кварцевые, от тонко- до среднезернистых, косослоистые. В песчаниках обычно встречаются обломки аргиллитов, образовавшихся, вероятно, в результате эрозии высохшего и растрескавшегося ила, который покрывал берег реки. В некоторых тон-

ких пластах слоистых песчаников и темно-серых алевролитов наблюдаются оползневые структуры, подобные тем, которые образуются в глинистых верхних слоях отложений, слагающих приустьевую отмель. Структуры размыва, так же как и обугленные растительные остатки, обычны в этих отложениях. В общем

песчаное тело, по-видимому, было отложено рекой, возможно рукавом, протекавшим на прибрежной равнине.

Скопления нефти приурочены к наиболее проницаемым частям песчаного тела, где оно слабо деформировано погружающимися на северо-запад антиклиналями, которые пересекают зону распространения русла. Пористость и проницаемость песчаников этих продуктивных интервалов колеблется соответственно в пределах от 15 до 25% и от 100 до 1000 мД. Соленость пластовых вод варьирует от 90 до 110 г/л согласно Дж. К. Хармсу [Harms J. C., 1966]. Годовая добыча нефти из отдельных продуктивных скважин месторождения составляет 3375 т. Суммарная добыча нефти, которая может быть получена со всех месторождений, известных в этой зоне, оценивается в 1,3 млн. т.

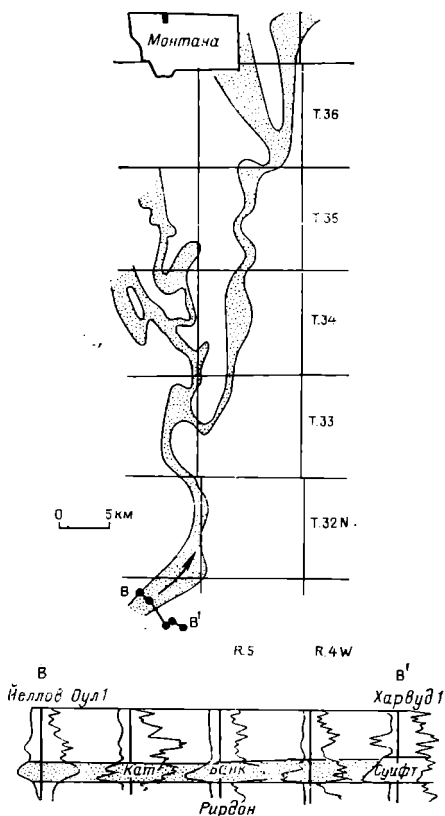


Рис. 49. Зоны распространения песчаников Кат-Банк нижнемелового возраста, где мощность их превышает 50 футов (15 м); нефтяное месторождение Кат-Банк, Монтана [Shelton J. W., 1967].

На врезке показано местоположение площади. Стрелкой указано направление течения потока

песчаники заполняют русла, врезанные в морские отложения, представленные глинами и алевритами верхнеюрского возраста, которые слагают свиты Суифт и Рирдон. Они составляют базальную пачку свиты Кутеней и перекрываются пестры-

Нефтяное месторождение Кат-Банк, Монтана

В Северо-Западной Монтане добыча нефти из песчаников Кат-Банк нижнемелового возраста осуществляется на месторождении Кат-Банк, расположенном на западном склоне свода Суитграсс. Эти

ми аргиллитами и глинистыми песчаниками континентального происхождения, мощность которых достигает нескольких десятков метров. Руслу образуют меандрирующую систему, которая протягивается с севера на юг. Область питания (дренируемая площадь) находилась на севере, и отдельные русла разветвляются в этом направлении. Границы распространения песчаника примерно соответствуют границам его осадконакопления и проходят примерно вдоль края нефтяного месторождения Кат-Банк, по восстанию его пластов и вдоль обнажения этого песчаника приблизительно в 50 км к западу. В северном направлении эта система русел протягивается более чем на 80 км и заходит в Альберту. Речной бассейн (дренирующая система), в которой происходило отложение песчаных образований Кат-Банк, состоял из нескольких самостоятельных русел и был образован на широкой и довольно плоской прибрежной равнине. Форма русел и их распространение в пределах месторождения Кат-Банк (рис. 49) могут быть четко прослежены с помощью карты изопакит песчаников Кат-Банк, мощность которых в пределах русел превышает 15 м [Shelton J. W., 1967]. Ширина этих меандрирующих русел составляет обычно 450—1200 м, а мощность выполняющих их песчаников достигает 25 м. Примерно в 50 км к юго-западу, где песчаники Кат-Банк обнажаются, их мощность увеличивается до 70 м.

Песчаники сложены главным образом зернами кварца и темно-серого кремнистого сланца. В пределах отдельных слоев зерна кварца довольно хорошо окатаны. Однако распределение размеров частиц, слагающих песчаники, для всей толщи слоев закономерно. Как правило, наиболее грубозернистые разности находятся в нижней части толщи, а вверх сменяются тонкозернистыми разностями. Местами слои грубозернистых пород сложены конгломератом и галькой. Максимальный размер гальки достигает 15 мм. Для всей толщи характерна косая слоистость. Кроме того, наблюдаются такие особенности осадочных текстур, как ходы червей (?), осколки аргиллитов (вероятно, обломки высохшего ила), следы деформаций, вероятно, вызванные оползанием неконсолидированных осадков в гидропластическом состоянии [Coneybeare C. E. W. and Crook K. A. W., 1968]. В слоях глин, местами присутствующих в верхней части песчаников Кат-Банк, содержатся пресноводные остракоды и гастроподы. Пористость песчаников находится в пределах 12—19%, проницаемость достигает 300 мД, а средняя величина равна 100 мД. Наиболее высокими значениями пористости и проницаемости характеризуются среднезернистые песчаники, в то же время низкие значения этих параметров свойственны как мелкозернистым, так и конгломератовым песчаникам.

Обычно наиболее высокопродуктивными являются те песчаные тела (рис. 50), выполняющие русла, мощность которых наибольшая. Однако это не всегда так. Величина добычи зависит от

характера изменения пористости и проницаемости коллектора на тех участках месторождения, где скопления нефти содержатся в ловушках, образованных в результате выклинивания вверх по восстанию песчаников Кат-Банк. Главная продуктивная зона месторождения, где эффективная мощность песчаников составляет 5 м, находится в нижней части песчаников Кат-Банк и залегает на глубинах примерно 900 м. Плотность нефти — 0,835 г/см³. Добыча осуществляется на режиме растворенного газа и газонапорном режиме (режиме газовой шапки). Первоначальная суточная добыча на скважину в период первых 10 сут эксплуатации месторождения составляла в среднем 7,6 т. В отдельных частях месторождения добыча превышала 14 т/сут.

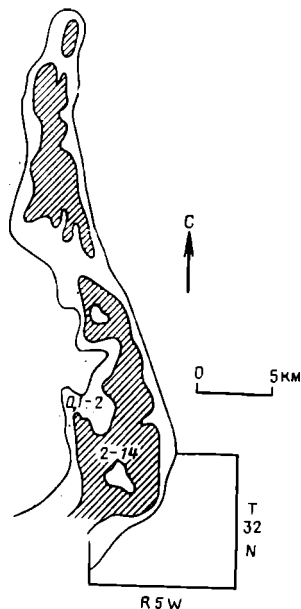


Рис. 50. Распределение суточной добычи нефти (средняя в первые 10 сут) в начальный период разработки из продуктивных скважин, эксплуатирующих залежи в песчаниках Кат-Банк [Blixt J. E., 1941]

Нефть подстилается довольно пресной водой, в составе которой содержится солей примерно 10 мг/л. Это свидетельствует о проникновении поверхностных вод в песчаники Кат-Банк. Возможно, наличием таких гидродинамических условий и обусловлен слабый наклон водонефтяного контакта. Извлекаемые запасы месторождения составляют 4,1 млн. т. нефти и 2,3 млрд. м³ газа.

Нефтяное месторождение Нахоркатия, Ассам, Индия

Добыча на нефтяном месторождении Нахоркатия, расположенном в штате Ассам, осуществляется из песчаников, залегающих в разрезе 300-метрового интервала в верхней части серии Бараил олигоценного возраста. Эти песчаники образовались из речных песков (рис. 51), которые были отложены в пределах довольно плоской заливной террасы (поймы), состоящей из алевроитов и глин в верхней части дельты. В разрезе осадочного выполнения отдельных русел, глубина которых достигает 30 м, а ширина — более 450 м, наблюдается переслаивание тонких пластов углей и лигнитов, отжившихся на участках пойменных болот заливной террасы. В пределах месторождения Нахоркатия обнаружено более 50 отдельных русел. В некоторых местах наблюдается наложение двух русел или более (рис. 52), в результате чего образуются песчаные толщи мощностью, превышающей 50 м. В отложениях, слагающих каждое русло, вверх по разрезу наблюдается уменьшение зернистости от грубозернистого песка

до тонкозернистого алевролита. Для этих русловых песков характерна типичная, колоколообразная форма электрокаротажных кривых, что указывает на закономерное погрубение слагающего их материала сверху вниз.

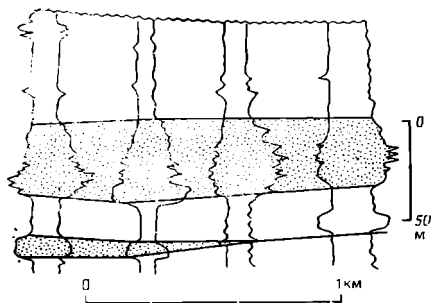


Рис. 51. Электрокаротажный разрез, показывающий нефтеносные речные русловые пески в отложениях олигоценовой серии Бараил на месторождении Нахоркатия, Ассам [Azad J., Bhattacharyya S., Datta B. D. and Stevens T. E., 1971]

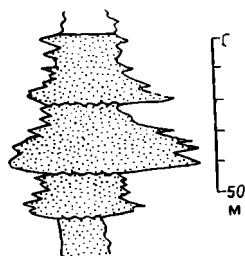


Рис. 52. Электрокаротажная характеристика сложно построенного руслового песчаного тела в олигоценовой серии Бараил на нефтяном месторождении Нахоркатия, Ассам [Azad J., Bhattacharyya S., Datta B. D., Stevens T. E., 1971]

Скопления нефти на месторождении контролируются сочетанием стратиграфического и структурного факторов. В региональном плане отложения, слагающие серию Бараил, характеризуются падением в сторону от выступа фундамента. Этот структурный элемент, по-видимому, оказывает важное влияние на направление региональной миграции углеводородов и размеры сформировавшегося на глубине скопления нефти. Местные скопления нефти на площади приурочены к ловушкам, образованным сбросами и выклиниванием русловых песков. Нефть во всех продуктивных пластах месторождения Нахоркатия смолистая. Ее плотность — $0,860 \text{ г/см}^3$. Считают, что нефтематеринскими породами являются морские глины и известняки, залегающие ниже толщи эоценового возраста.

Майкопское нефтяное месторождение, СССР

На Майкопском нефтяном месторождении (рис. 53), расположенном на Северном Кавказе в СССР, добыча нефти производится из песков третичного возраста, выполняющих меандрирую-

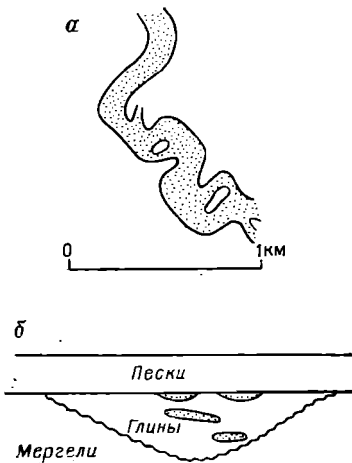


Рис. 53. Карта (а) и разрез (б) погребенного русла, заполненного песками, в выработанной глинами третичной долине на Майкопском нефтяном месторождении, Северный Кавказ, СССР [Prokоров. С. А. and Maksimov M. I., 1937]

ров — наложением меандрирующего пояса на моноклираль, погружающуюся в северном направлении в сторону от Кавказских гор. Начальные дебиты некоторых продуктивных скважин достигали 945 т/сут.

щие русла. Эти шнурковые песчаные тела меандрируют на различных уровнях в пределах долины, заполненной в основном глинами и врезанной в глинистые известняки мелового возраста. Основное продуктивное песчаное тело, которое залегает стратиграфически выше остальных, протягивается более чем на 8 км и имеет ширину 150—300 м. Оно обычно приурочено к долине, но местами выходит из нее на окружающую долину пойму. Пески, которые залегают на глубине всего в несколько сотен метров, характеризуются хорошей пористостью и проницаемостью. Они обычно представлены средне- и грубозернистыми разностями, хотя местами содержат в своем составе галечник и гравий.

Образование скоплений нефти обусловлено сочетанием стратиграфического и структурного факто-

ров — наложением меандрирующего пояса на моноклираль, погружающуюся в северном направлении в сторону от Кавказских гор. Начальные дебиты некоторых продуктивных скважин достигали 945 т/сут.

ПЕСКИ ДЕЛЬТОВЫХ ПРОТОК И ДЕЛЬТОВОГО ОБРАМЛЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Формы дельт непостоянны. Они непрерывно изменяются, реагируя на: 1) изменения направления течения протоков; 2) колебания объема осадков, приносимых рекой в дельту и в прибрежную часть моря; 3) изменения скорости уплотнения, приводящей к неравномерному прогибанию в различных частях дельты; 4) действия штормов и приливно-отливных явлений; 5) батиметрию континентального шельфа, на который дельта продвигается дальше в море. Ветвистый рисунок классической дельты современной р. Миссисипи в форме птичьей лапы обусловлен мелководностью континентального шельфа и сравнительно слабым колебанием уровня приливов. В противоположность этому современная дельта р. Нигер, имеющая остроконечно-дугообразную форму (см. рис. 1), характеризуется сглаженной и дугообразной береговой линией, слогаемой песками дельтового обрамления. Это обусловлено тем, что выдвигание подводного склона дельты в сторону моря происходит на очень узком континентальном шельфе, в пределах которого наблюдаются значительные колебания величины приливов, сильные течения и активная волновая деятельность.

Если рассматривать дельту в трех измерениях, то постоянно меняющийся рисунок ее представляет собой поверхностное или географическое выражение размывающегося языка осадков, имеющего неправильные очертания и изменяющуюся мощность, который формируется в направлении моря как следствие колебания скорости седиментации. По мере того как река периодически изменяет направление своего течения и отлагает переносимый ею во взвешенном состоянии материал в виде осадков в других частях дельты, она последовательно образует ряд таких языков. Эти языки не только продвигаются в сторону моря, но местами сливаются, образуя нагромождение осадков, которые могут соединяться с аналогичными нагромождениями осадков соседних рек и таким образом формировать отложения паралических фаций в осадочном бассейне.

С палеогеоморфологической точки зрения древообразную и соединяющуюся и разветвляющуюся (сетчатую) систему прото-

ков в дельтовом комплексе р. Миссисипи (рис. 54) следует рассматривать в трехмерном пространстве. Эта форма прослеживается и в нижней части разреза, сложенной современными и третичными отложениями, которые подстилают образования современной дельты. Такие соотношения подтверждают точку зрения, согласно которой современная форма дельты Миссисипи и характер процессов седиментации, наблюдаемых в ее пределах в настоящее время, являются повторением тех, которые наблюдались в ее геологической истории в третичное время. С точки зрения поисков нефти особый интерес представляют характерные черты строения в трех измерениях современных песчаных тел дельтовых протоков и дельтового обрамления, их геометрия и их внутренние черты, такие как осадочные текстуры, изменение зернистости слагающих их осадков и изменчивость литологии последних. Пространственное соотношение этих песчаных тел с соседними пластами и условия образования последних являются весьма существенными при интерпретации условий образования песчаных тел. На нижних участках дельты, окаймляющих берег, где поверхность прогибающейся суши возвышается меньше чем на 1 м над уровнем моря, главные протоки текут по местности, занятой прибрежным болотом (маршем). Руслу протоков, ограниченные наносами (естественными дамбами), обычно находятся гипсометрически выше, чем болотистая местность, по которой они протекают. Ил и грязь поступают из протоков в пределы соседней болотистой местности в периоды паводков, когда протоки выходили из своих берегов. Пески приурочены к руслам, в которых они транспортируются к устьям распределительных протоков, где они отлагаются и впоследствии разносятся морскими течениями и из них образуются бары распределительных протоков (рис. 55). По мере того как распределительные протоки продвигаются все дальше в сторону моря, их отложения постоянно перекрывают песчаные отложения устьевых баров и образуется продвигающееся в сторону моря линейно вытянутое песчаное тело, которое Х. Н. Фиск [Fisk H. N., 1961] назвал «баровым пальцем». Верхняя и центральная части такого песчаного тела приурочены к руслу. Они сложены речными образованиями, внутреннее строение которых характеризуется основными чертами речных отложений. В нижних и латерально более удаленных

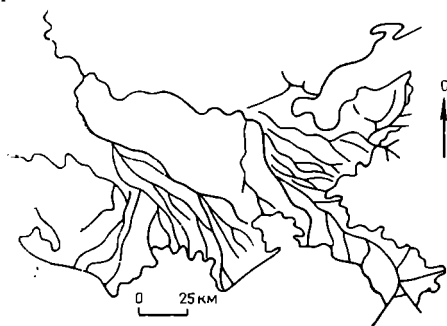


Рис. 54. Схема действующих и покинутых распределительных протоков дельты Миссисипи [Kolb C. R. and Van Lopik J. R., 1966]

ния, согласно которой современная форма дельты Миссисипи и характер процессов седиментации, наблюдаемых в ее пределах в настоящее время, являются повторением тех, которые наблюдались в ее геологической истории в третичное время. С точки зрения поисков нефти особый интерес представляют характерные черты строения в трех измерениях современных песчаных тел дельтовых протоков и дельтового обрамления, их геометрия и их внутренние черты, такие как осадочные текстуры, изменение зернистости слагающих их осадков и изменчивость литологии последних. Пространственное соотношение этих песчаных тел с соседними пластами и условия образования последних являются весьма существенными при интерпретации условий образования песчаных тел. На нижних участках дельты, окаймляющих берег, где поверхность прогибающейся суши возвышается меньше чем на 1 м над уровнем моря, главные протоки текут по местности, занятой прибрежным болотом (маршем). Руслу протоков, ограниченные наносами (естественными дамбами), обычно находятся гипсометрически выше, чем болотистая местность, по которой они протекают. Ил и грязь поступают из протоков в пределы соседней болотистой местности в периоды паводков, когда протоки выходили из своих берегов. Пески приурочены к руслам, в которых они транспортируются к устьям распределительных протоков, где они отлагаются и впоследствии разносятся морскими течениями и из них образуются бары распределительных протоков (рис. 55). По мере того как распределительные протоки продвигаются все дальше в сторону моря, их отложения постоянно перекрывают песчаные отложения устьевых баров и образуется продвигающееся в сторону моря линейно вытянутое песчаное тело, которое Х. Н. Фиск [Fisk H. N., 1961] назвал «баровым пальцем». Верхняя и центральная части такого песчаного тела приурочены к руслу. Они сложены речными образованиями, внутреннее строение которых характеризуется основными чертами речных отложений. В нижних и латерально более удаленных

частях этого песчаного тела могут наблюдаться такие внутренние черты, как постепенная смена грубозернистых разностей сверху на мелкозернистые книзу (рис. 55, в), что характерно для вдольбереговых песков. Эта очевидная аномалия в условиях

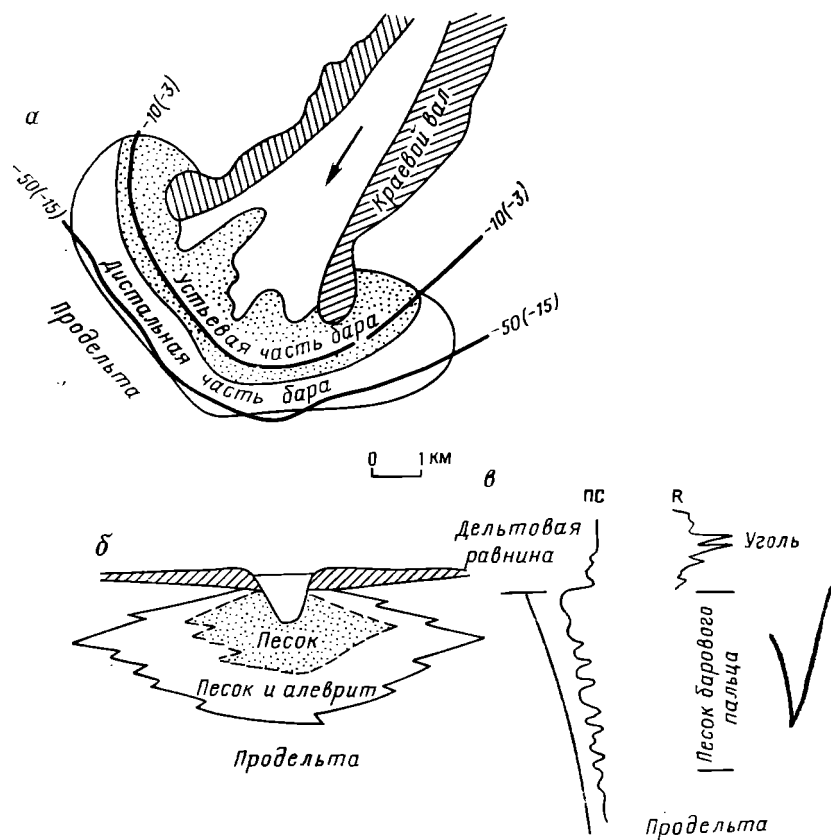


Рис. 55. Форма и характер изменения зернистости песков, слагающих баровый палец

а — изображение в плане песчаного тела барового пальца, сформированного в устье Саут-Уэст Пасс — главной протоки дельты Миссисипи в форме птичьей лапы [Coleman J. M., Gagliano S. M., 1965]; б — разрез барового пальца, сложенного песком, в устье дельтовой протоки, показывающий русло, ограниченное валами и подстилаемое песками устьевой протоки и песками и алевритами дистальной части бара, перекрывающей глины и алевриты продельты [Fisk H. N., 1961]; в — электрокаротажная характеристика разреза продвигающейся дельты, сложенного породами от грубозернистых вверху до мелкозернистых внизу, таких, как показаны на рис. 55 а, б [Fisher W. L., 1969; Fisher W. L. and McGoven J. H., 1969]

осадкообразования песчаного тела относится только к той части песчаного тела распределительной протоки, которая отложена в море. Остальная часть песчаного тела, которая в большинстве случаев, вероятно, представляет большую часть тела распределительной протоки, сложена речными отложениями. Такими со-

отношениями можно объяснить те трудности, которые встречаются при установлении генезиса песчаного тела, залегающего на глубине.

Среди отложений дельтовых протоков, продвигающихся в море, изменение зернистости слагающих их частиц от грубой вверху до тонкой внизу наблюдается не только в песках, слагающих баровые пальцы, но и в тех их частях, которые отлагаются в море, в его прибрежной мелководной части. Такие же закономерности в изменении зернистости по разрезу можно наблюдать и в других прибрежных песчаных телах, протягивающихся в море, таких, например, как барьерные бары. Вверх по течению протоки отложения баровых пальцев сливаются с песчаными телами распределительных каналов, представленных речными отложениями, в которых изменение зернистости наблюдается в обратном направлении — от грубой внизу до тонкой вверху. Это свидетельствует о том, что в таких песчаных телах не наблюдается единой закономерности в изменении по разрезу зернистости слагающих их осадков на всем протяжении песчаного тела. На другой возможный фактор в образовании отложений баровых пальцев указано Г. Т. Муром [Moore G. T., 1970]. Он отметил, что линейные песчаные тела, слагаемые тонкозернистым песком, развитые в протоках р. Миссисипи, которые называются баровыми пальцами, могут быть образованы не только в результате увеличения и продвижения в сторону моря баров, развитых в устьях рек и распределительных протоков (речных устьевых баров и баров распределительных протоков). Они могут быть также сформированы в результате внедрения языков соленой воды в русла распределительных протоков в периоды, когда дебит их стока меньше максимального. Такое внедрение уменьшает скорость течения протока в его донной части и приводит к осаждению песчаных отложений на дне реки, которые перемещаются в соответствии с внедрениями и отливами соленых вод вдоль нижней части распределительного протока (рис. 56).



Рис. 56. Схематический разрез вдоль русла дельтовой протоки, показывающий соотношение песчаного порога и клина соленой воды внутри русла, заполненного пресной водой [Moore G. T., 1970]

Форма песчаных тел, слагающих баровые пальцы, была описана Х. Н. Фиском [Fisk H. N., 1961] и Х. Р. Гулдом [Gould H. R., 1970]. Для каждого барового пальца характерны продвижение в сторону моря и линейность, образованная за счет

наращивания его песчаными отложениями, слагающими речные устьевые бары и бары распределительных протоков (рис. 57). В любом месте со временем песчаный бар образует песчаное тело серповидной формы перпендикулярно к направлению течения протока, ширина которого составляет 5—8 км. Слагающие его осадки отлагаются в мелководных условиях устья протока. В сто-

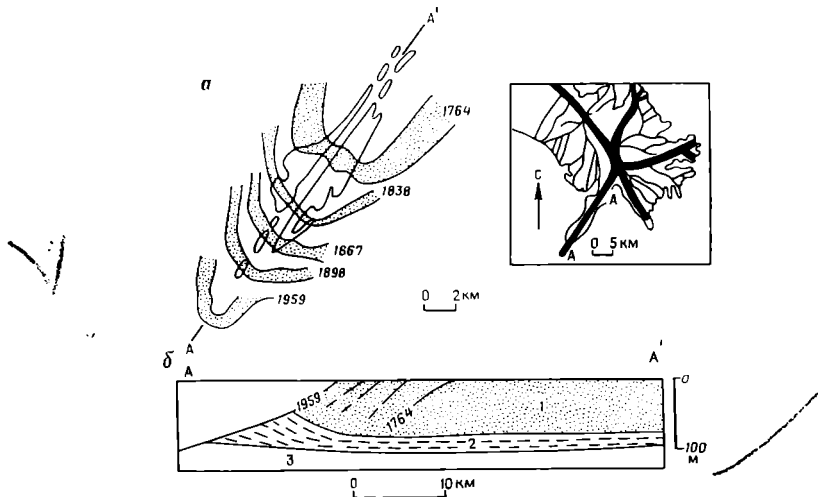
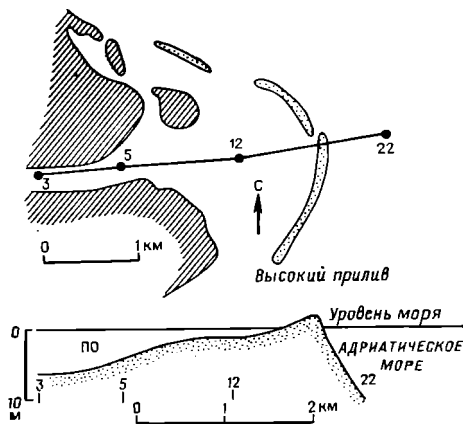


Рис. 57. План (а) и разрез (б), иллюстрирующий продвижение песков, слагающих баровый палец Саут-Уэст Пасс р. Миссисипи за период с 1764 по 1959 г. Разрез А—А' показывает положения временных поверхностей внутри песчаного тела, слагающего баровый палец (1), который перекрывает алевриты фронта дельты (2) и глины продельты (3) [Fisk H. N., 1961]

Рис. 58. Серповидные песчаные бары (заполнены крапом), образованные в устье р. По у Пилы, и разрез через пункты 3 и 22, показывающий форму образованных волнами баров и подстилающего его клина песка [Nelson B. W., 1970]



рону моря пески постепенно замещаются алевритами и глинами. Баровые пальцы, распространяющиеся в сторону моря, представляют собой диахронное песчаное тело. Временные поверхности

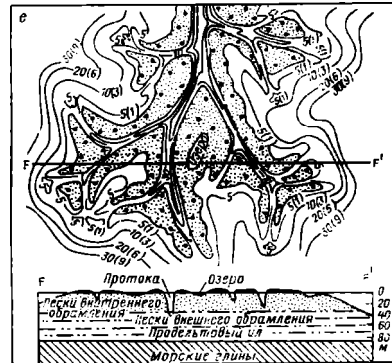
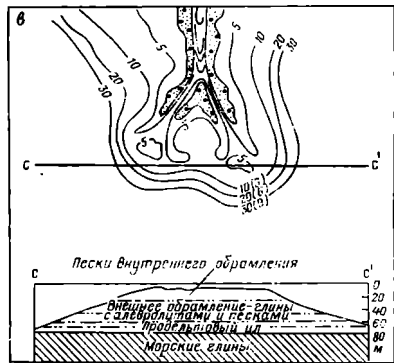
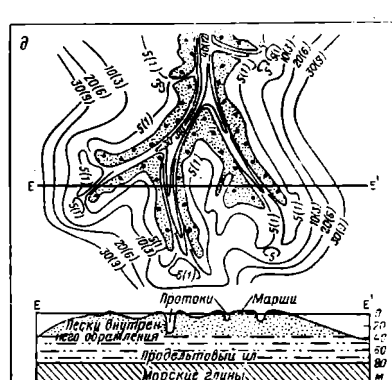
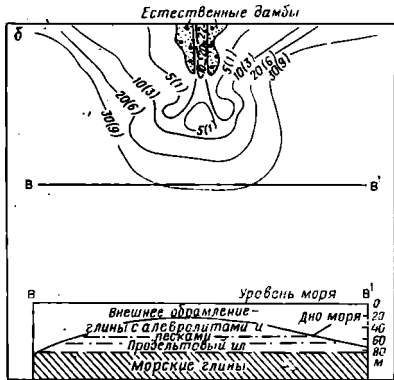
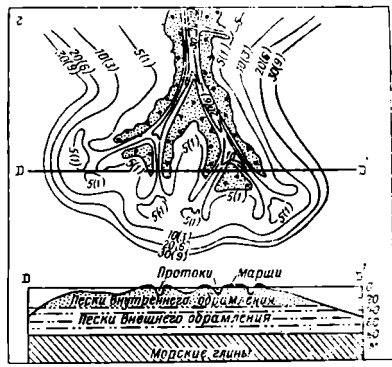
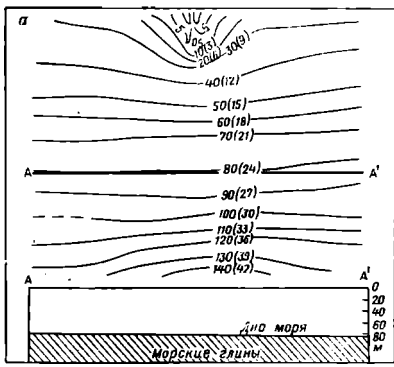


Рис. 59. Схемы, иллюстрирующие стадии развития дельты (а — е) в форме птичьей лапы и накопление дельтовых отложений, показывающие характер роста разветвляющихся проток и стратиграфическую последовательность в плане и разрезе [Le Blanc R., 1972; Fisk H. N., 1961]

отложения этих осадков (или их следы) в разрезе песчаного тела располагаются эшелонированно или диагонально. Мощность песчаных тел, слагающих баровые пальцы, может достигать 75 м, а длина их — 30 км. Рост дельтового комплекса по латерали и в вертикальном направлении обусловлен постоянно меняющимся характером песчаных тел, слагающих баровые пальцы. Это приводит к образованию по всему разрезу системы разветвляющихся и соединяющихся линзообразных песчаных тел, разделенных линзами алевролитов и глин.

Пример песчаных устьевых баров распределительных проток описан также Б. В. Нельсоном [Nelson V. W., 1970]. Это комплекс песчаных баров, развитых в устье р. По у г. Пила в Италии (рис. 58). Эти бары образуют острова, расположенные в форме дуги на периферийном крае песков, продвигающихся к морю, с их морской стороны. Мощность этой зоны песков достигает 15 м, ширина — 3 км.

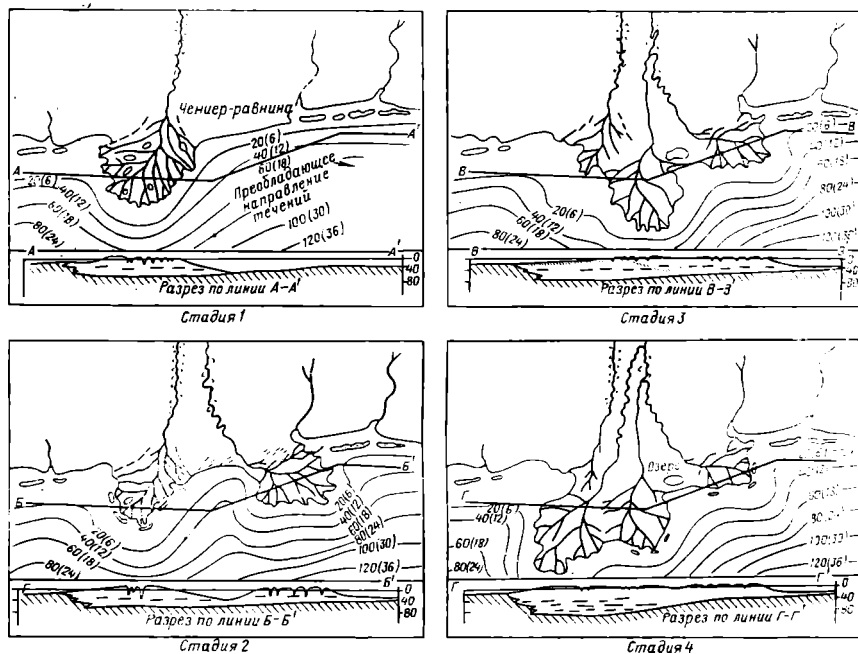


Рис. 60. Схемы, иллюстрирующие стадии развития комплекса дельтовой равнины, и стратиграфическая последовательность отложений, образовавшихся в результате слияния отдельных языков дельты [Le Blanc R., 1972]

Р. Ле Блан [Le Blanc R., 1972], основываясь на результатах изучения песков, слагающих баровые пальцы в дельте Миссисипи, выполненных Х. Н. Фиском [Fisk H. N., 1961], представил

рост дельтового комплекса так, как это изображено на рис. 59. Эти схемы показывают стадии развития дельты в форме птичьей лапы в дельтовом комплексе, состоящем из разветвленных протоков, разделенных болотом. По мере того как языки дельты продвигаются в сторону моря и смещаются в латеральном направлении, песчаные тела, отложившиеся в старых распределительных рукавах дельты, захороняются и в погребенных условиях образуется система разветвляющихся и соединяющихся линзообразных тел.

Р. Ле Блан [Le Blanc R., 1972] далее указывает (рис. 60), что такие языки сливаются благодаря их латеральному смещению в результате изменения течения протоков и образуется дельтовая равнина, ширина которой может превышать 160 км. На глубине эта погребенная дельтовая равнина подстилается комплексом пород, представленным алевритами и глинами, которые чередуются с песчаными телами, сложенными образованиями русловых песков, песками, слагающими баровые пальцы, береговые бары и барьерные острова. В общем тренды осадконакопления пород, слагающих русла и баровые пальцы, примерно перпендикулярны к трендам осадконакопления, в которых образовались отложения, слагающие вдольбереговые бары и барьерные острова.

Электрокаротажная характеристика

Береговое (прибрежное) обрамление каждой лопасти дельты включает пески баровых пальцев, которые продвигаются в сторону моря. Такое продвижение приводит к тому, что пески перекрывают отложения алеврита и глины, отложенные продельтой. В результате этого характер распределения зернистости у таких отложений на кривой ПС отображается зубчатой (пилообразной), воронкообразной ее формой. Такая форма кривой ПС указывает на: 1) наличие постепенного перехода при чередовании песчаных линз со слоями алевритов и глин, 2) общую тенденцию увеличения вверх по разрезу мощности песчаных слоев, обычно с одновременным увеличением их зернистости в этом направлении. В нижней части толщи, слагающей баровые пальцы, наблюдается переслаивание слоев песка, алеврита и глины, которые были отложены в результате колебания уровня реки в период паводков. В период паводков в протоках отлагались пески, продвигающиеся в сторону моря от их устья. Наоборот, в период низкого уровня вод отлагавшиеся здесь осадки состояли главным образом из алевритов и глин. По мере того как протока развивается и отложения, слагающие баровые пальцы, продвигаются дальше в сторону моря, осадки, отлагающиеся в любом месте нижней части пласта (участка между двумя изгибами протока), становятся все более песчанистыми. В результате этого в разрезе отложений, выполняющих протоку

вблизи ее устья, наблюдается обычно увеличение грубозернистости осадка вверх по разрезу.

Песчаные тела, выполняющие протоки, могут перекрывать или врезаться в пески, слагающие морские обрамления дельты. В некоторых случаях их можно отличить от последних по соответствующей им характерной колоколообразной или цилиндрической форме кривой ПС. В отложениях, слагающих верхнюю часть плеса (участка между двумя изгибами протока), наблюдается кривая ПС с тенденцией к колоколообразной форме, что указывает на закономерное изменение зернистости в разрезе от тонкой вверху до более грубой внизу. В нижней части плеса прогибание песчаного тела, выполняющего протоку, и довольно однообразная скорость течения и седиментации могут привести к накоплению мощного песчаного тела с однообразным распределением зернистости по всему его разрезу. Этот тип песчаного тела характеризуется кривой ПС цилиндрической формы. Пилообразная форма кривой ПС указывает на прослой алевритов и глин, которые отложились в протоке в периоды уменьшения скорости течения.

Уплотнение

Когда береговая линия отступает, наращиваемые в сторону моря песчаные тела, слагающие баровые пальцы, перекрываются отложениями распределительных протоков. Эти русла, ширина которых составляет $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{5}$ ширины песчаных баровых пальцев, протягивающихся к морю, далее в сторону суши объединяются, образуя крупные русла. Песчаные тела баровых пальцев местами сливаются на поверхности. Уплотнение окружающих их илов и алевритов может привести к тому, что и после захоронения они могут сливаться или приходить в контакт друг с другом. В результате этого при рассмотрении их в трехмерном пространстве эти песчаные тела баровых пальцев могут в разрезе располагаться эшелонированно, как параллельно, так и перпендикулярно к общему тренду осадконакопления. Такое их упорядоченное расположение благоприятствует движению флюидов через песчаные тела в процессе уплотнения пород. Движение флюидов в слоях обычно направлено как в латеральном, так и в вертикальном направлениях. Оно обычно происходит вдоль наиболее проницаемых зон, которые простираются вверх по склону бассейна осадконакопления в сторону выклинивания осадочной толщи. Можно заключить, что флюиды, выжатые из уплотняющихся илов, попадут в песчаные тела, слагающие баровые пальцы, и будут мигрировать далее вверх по возвышению вдоль погребенных песчаных тел, заполняющих протоки. В действительности, движение пластовых флюидов через песчаные тела может быть задержано одновременно образующимися

оползнями крупных блоков осадков, приводящих к образованию сбросов, которые служат препятствием для движения флюидов. В результате этого в изолированных песчаных телах возникает давление флюидов, которое превышает нормальное гидростатическое.

Локальные изгибы песчаных тел, выполняющих протоки или песчаных тел, слагающих баровые пальцы, вызванные их уплотнением или тектоническими деформациями, могут привести к образованию многочисленных складок, благоприятных для формирования различного вида стратиграфических и структурно-стратиграфических ловушек для нефти и газа. Ко многим из таких ловушек приурочены многочисленные залежи, выявленные в третичных отложениях прибрежной части нефтегазоносного бассейна Мексиканского залива на территории США, как это показано Дж. А. Хартманом [Hartman J. A., 1972]. Другие аналогичные примеры залежей в таких ловушках известны по материалам Д. А. Буша [Busch D. A., 1971] в песчаниках Буч в разрезе пенсильванской свиты Мак-Алестер.

Древние песчаные тела

Примеры древних песчаных тел дельтовых протоков и дельтового обрамления известны во многих частях мира. Они встречаются как в обнажениях, так и в погребенном состоянии. Много таких тел приурочено к отложениям миссисипия, пенсильвания, мелового и третичного возраста. Р. К. Селли [Selley R. C., 1970] описал некоторые из характерных черт таких песчаных тел по материалам обнажений в каменноугольных породах Северной Англии. На стр. 77 он писал: «Поиски древних дельт мы должны проводить в мощных терригенных толщах, в которых наблюдается циклическое повторение интервалов и фиксируется у слагающих их пород увеличение размеров зернистости вверх по разрезу. Каждый цикл должен начинаться с морских глин, переходящих вверх по разрезу сначала в алевроиты, а затем в грубозернистые пресноводные русловые пески в его кровле. В плане русла должны иметь форму радиально расходящихся шнурков и должны быть врезаны в пресноводные глины и угли. Пласты угля также обычно присутствуют непосредственно ниже подошвы песчаного тела, заполняющего распределительный канал».

Аппалачская дельта, США

Песчаные тела, представленные образованиями распределительных протоков, отложениями баровых пальцев и другими песчаными образованиями дельтового обрамления, известны в отложениях среднепенсильванского возраста в северной части Аппалачского региона. Продвижение лопастей дельты в сторону

моря, их латеральное смещение и слияние изучено Дж. К. Фермом [Ferm J. C., 1970]. Представленные на рис. 61 ассоциации карбонатных и некарбонатных пород не являются типичными для современных дельт, но они характерны для дельт пенсильванского возраста, развитых в Аппалачах, на востоке США, а также для дельт, известных в северной части Центрального Техаса [Galloway W. E. and Brown L. F., 1973].

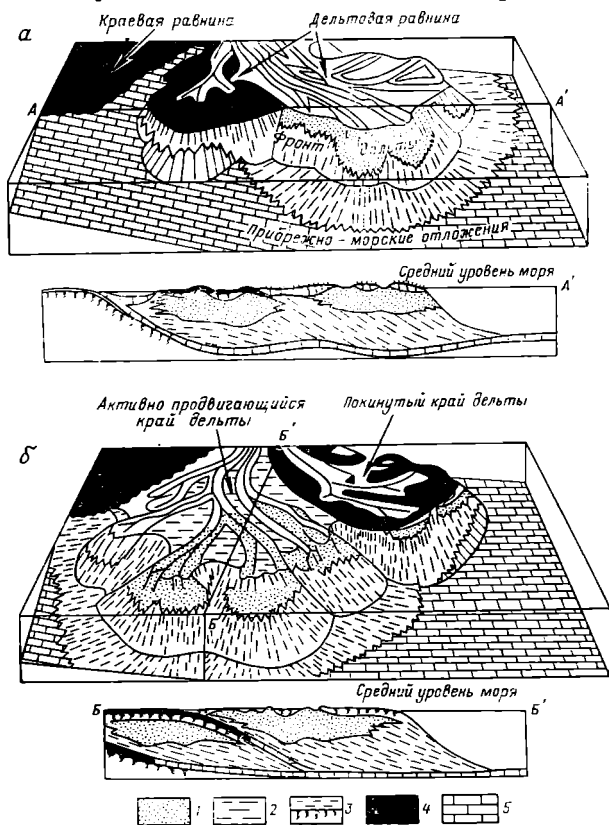


Рис. 61. Схематические блок-диаграммы, показывающие в плане и разрезе реконструированные в обобщенном виде более древние (а) и более молодые (б) языки среднепенсильванской дельты в северной части Аппалачского района [Ferm J. C., 1970]:

1 — песок; 2 — алевроит и глины; 3 — глина с корнями растений; 4 — торф; 5 — известковистые глины и мергели
Вертикальный масштаб увеличен в 1000 раз

Эти схематические диаграммы показывают развитие более древних и более молодых языков дельты, образование которых обусловлено крупными смещениями главного русла реки и его притоков. Прогибание покинутых дельтовых языков, вызванное уплотнением залегающего у поверхности ила и грязи, приводит

к трансгрессии моря и образованию затопленного прибрежного рельефа. В результате местной сортировки осадков и их разноса, в частности в те периоды времени, когда отдельные части берега остаются сравнительно неподвижными, образуются вдольбереговые пески, которые слагают пляжи и бары, наступающие на прогибающуюся часть суши. В таких условиях песчаные тела, составляющие морское обрамление дельты, перекрывают речные пески дельтового обрамления, отложенные на суше. Последующее смещение речной системы может привести к образованию новых языков (лопастей) дельты за пределами частей старых. Такой цикл может повториться два или три раза. Дальнейшее его повторение мало вероятно, так как продвижение дельты в сторону моря приводит к тому, что участок, где происходило первоначально осадконакопление, оказывается более глубоко погребенным и остается дальше от моря в сторону суши.

Дельта Сиско, Техас

В отложениях серии Сиско, развитой в северной части Центрального Техаса, возрастом которой датируется от верхнего пенсильвания до нижней перми, наблюдаются соединяющиеся и вновь разделяющиеся линзообразные песчаные тела, которые имеют сетчатый рисунок (рис. 62 и 63). Эти песчаные тела,

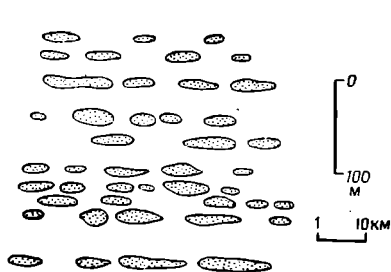


Рис. 62. Разрез через русла, выполненные песчаниками Сиско верхнепенсильванского возраста в Центральном Техасе [Brown L. F., 1969]

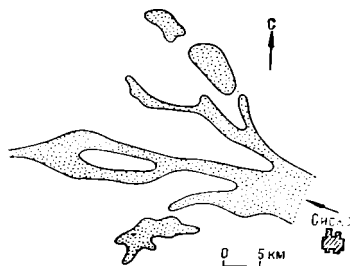


Рис. 63. Зоны распространения песчаных тел мощностью около 12 м в разрезе серии Сиско (верхний пенсильванский — нижняя пермь) в Центральном Техасе [Galloway W. E., 1969]

сформировавшиеся в результате заполнения песком русел в дельте Сиско, образуют сингенетичный ряд. Каждый такой ряд песчаных тел встречается в различных стратиграфических горизонтах. Наблюдается тенденция смещения отдельных песчаных тел по отношению друг к другу в соседних горизонтах. Такие соотношения песчаных тел в размещении наблюдались Р. Х. Нанцем [Nanz R. H., 1954] у песчаных образований, вы-

полняющих русла в отложениях олигоцена на месторождении Силигсон в Техасе. Такое их размещение, вероятно, является результатом одновременного отложения песков в пределах русел, ограниченных более высоко расположенными берегами, и уплотнением алевролитов и глин, находящихся ниже пойменных болот, расположенных между протоков. Более молодые русла, которые образуются впоследствии и стратиграфически выше, стремятся следовать по топографическим понижениям, образованным между более старыми руслами.

Дельта Сиско была подробно описана В. Е. Галловеем и Л. Ф. Брауном [Galloway W. E. and Brown L. F., 1973]. На стр. 1187 они пишут: «Флювиально-дельтовая система Сиско располагается гипсометрически выше по отношению к примыкающим к ней краям шельфа. Она состоит из песчаников и аргиллитов, переслаивающихся с подчиненным количеством известняков и углей. По своему фациальному составу и особенностям распространения эта толща пород похожа на отложения серии Сиско, которые охарактеризованы в обнажениях. Признаки, характерные как для речных, так и для дельтовых систем, в ней настолько взаимосвязаны, что нельзя в чистом виде выделить речные и дельтовые отложения. К фациальным образованиям дельтовой системы относятся песчаники, слагающие устьевые бары протоков, песчаники краевой части дельты, ил и алевроиты дельтовой равнины и аргиллиты продельты и участков между протоками. Речные фаши включают русловые песчаники, песчаники и алевролиты с косоразвитой трещиноватостью, покрывающие наносы аргиллиты и озерные отложения». Далее на стр. 1189 они пишут: «Флювиально-дельтовая система Сиско на глубине протягивается на 80—113 км к западу от того места, где она обнажается. На глубине она переходит в фаши известняков Сильвестр, которые представляют собой образования прибрежной краевой части шельфа».

Известно несколько нефтяных месторождений с залежами в структурно-стратиграфических ловушках, где продуктивны песчаные тела руслового заполнения серии Сиско. К таким относятся месторождения Моррис, Бьюи-Блейсо, Кук-Ранч и Блафф-Крик.

Волгоградская дельта, СССР

Часть системы дельтовых протоков, развитых к северу от Волгограда в СССР в отложениях нижнего карбона, показана на рис. 64. Они выполнены песчаными образованиями руслового заполнения, приуроченными к одному стратиграфическому интервалу. Следовательно, песчаники руслового заполнения отображают последовательное наложение системы протоков, которые продвигались в южном направлении в период времени, соответствующий данному стратиграфическому интервалу. Зона рас-

пространения этих песчаных тел прослежена примерно на 160 км, ширина отдельных песчаных тел, выполняющих русла, составляет 3—8 км. Наименьшие по размеру песчаные тела обычно имеют мощность 10—20 м и протягиваются до 45 м. Рисунок проток похож на форму проток в отложениях свиты Бедфорд миссисипского возраста (см. рис. 13,б), известных в Огайо, а также на форму распространения песчаников Буч в Оклахоме.

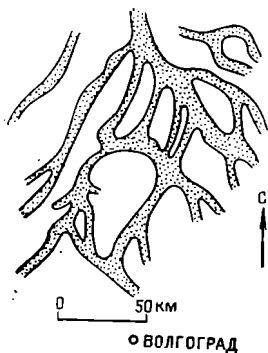


Рис. 64. Палеодельта нижнекаменноугольного возраста вблизи Волгограда, СССР [Марковский Н. И., 1967]

Выявление песков, выполняющих русла дельтовых проток

При рассмотрении примеров были выделены разветвляющийся, соединяющийся и разъединяющийся типы линзообразных (шнурковых) песков и установлено стратиграфическое соотношение отдельных песчаных тел. Это ясно показывает, что линзообразные песчаные тела (шнурковые) представляют собой песчаные образования русла распределительных проток.

В том случае, когда в разрезе встречено единичное песчаное тело, условия его осадконакопления и палеогеографическую ситуацию очень трудно реконструировать. В таких случаях могут быть высказаны различные точки зрения как по поводу генезиса одиночного песчаного тела, так и его роли в стратиграфической истории района.

Рассмотрим пример, приведенный на рис. 65. На карте изохалит фиксируются три параллельные зоны в отложениях песчаников Палестайн верхнемиссисипского возраста в Иллинойсе. Мощность песчаников Палестайн достигает 30 м. Этот песчаник слагает верхний горизонт комплекса Честер. В разрезе последнего выделяется 13 основных песчаных горизонтов, на долю которых приходится 25% осадочного выполнения Иллинойского бассейна. Характерной чертой всех этих горизонтов, сложенных песчаниками, является то, что все они имеют резкий эрозионный контакт с подстилающими слоями. Они отображаются блоковой или колоколообразной кривой ПС. Местами эти горизонты песчаников подстилаются эрозионными руслами глубиной до 15 м. Песчаники мелкозернистые и очень мелкозернистые. Они сложены почти целиком зернами кварца, умеренно и хорошо окатанными. Обычно полевого шпата содержится менее 1%. Хорошо развита в них, в частности, косая слоистость, особенно в тех местах, где песчаные горизонты характеризуются наибольшей мощностью. В них наблюдаются также следы ряби и встречаются растительные остатки.

С одной стороны, П. Е. Поттер и другие [Potter P. E. et al., 1958] констатируют, что в целом для осадочных образований Иллинойского бассейна не характерно широкое развитие морских ископаемых организмов. Однако почти в каждом песчаном горизонте комплекса Честер они обнаружены. Возможно, они являются переотложенными из одно-возрастных залегающих по соседству морских слоев. Некоторые песчаные горизонты содержат обызвестковленные зоны, где местами песчаники переходят в песчаные известняки. С другой стороны, П. Е. Поттер и другие (Potter P. E. et al., 1958) на стр. 1016 пишут: «Тонкие пласты углей встречаются в восьми песчаных горизонтах».

Происхождение этих линейно вытянутых песчаных горизонтов проблематично. С 1963 г. укоренилось мнение, что они являются отложениями, слагающими приливно-отливные впадины. Они также могли быть отложены в распределительных протоках дельты, которые характеризовались относительно незначительным количеством известкового ила и образованием известковых слоев. Такие седиментологические и литологические ассоциации в современных условиях необычны, но они являются типичными для дельтовых образований пенсильванского возраста, развитых в Аппалачском регионе. Многие песчаные тела в разрезе комплекса Честер являются хорошими коллекторами для нефти. Касаясь латеральной изменчивости песков, развитых в отложениях верхнемиссисипского возраста в Южном Иллинойсе, А. И. Леворсен [Levorsen A. I., 1967] на стр. 289 писал: «Для этих миссисипских пород характерно наличие песчаных карманов, линз, баров, русел и фациальных изменений. Кроме того, к северу они срезаются залегающими на них пенсильванскими отложениями, которые содержат линзообразные песчаные тела. В этих миссисипских и пенсильванских песках обнаружено большое количество нефтяных залежей. Значительная их часть связана с антиклинальными складками, однако многие контролируются также латеральным изменением пористости и находясь за пределами сводовых частей поднятий». На латеральную изменчивость этих песчаных тел указывали также Д. Х. Суонн и Е. Атертон [Swann D. H. and Atherton E., 1948].

Одно из многих песчаных тел пенсильванского возраста, заполняющих русло в Иллинойском бассейне, показано на рис. 66. Мощность этого песчаного тела колеблется от 5 до 25 м, шири-

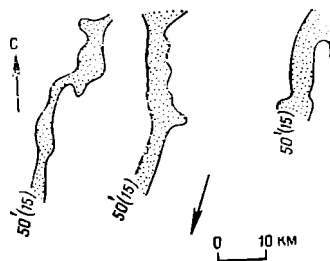


Рис. 65. Карта мощности, показывающая зоны распространения песчаников Палестайн верхнемиссисипского возраста в Иллинойсе [Potter P. E. et al., 1958]

Стрелкой показано преобладающее направление косої слоистости, что указывает на перенос песчаного материала в южном направлении

на 3—8 км. Оно протягивается, меандрируя в юго-восточном направлении, в направлении течения древней речной системы. Песчаники примыкают к углистым пластам Саммун и Харрисберг, а в стратиграфическом отношении залегают между ними. Такое

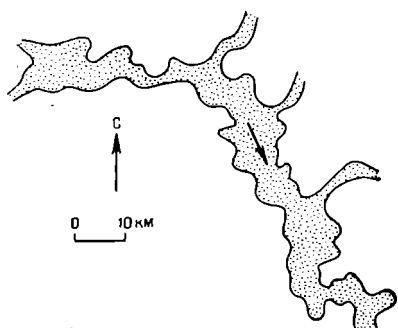


Рис. 66. Меандрирующие русла, выполненные песчаниками пенсильванского возраста, залегающими между пластами угля Саммун и Харрисберг в восточной части Центрального Иллинойса

Стрелкой указано направление переноса осадков на юго-восток [Potter P. E., 1962, a, b, c]

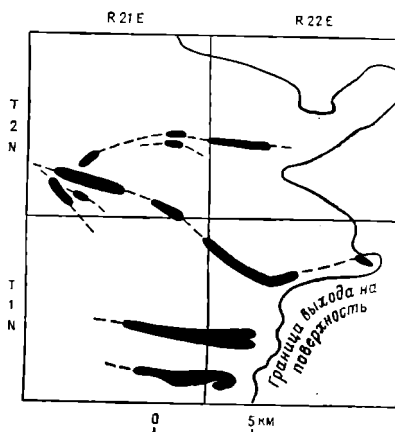


Рис. 67. Распространение линзообразных песчаных тел, образованных в руслах, врезанных в почти горизонтально залегающие глины Берпо верхнемелового возраста, в Центральной Монтане [Wulf G. R., 1964]

соотношение песчаников с пластами углей в разрезе свидетельствует, что их образование происходило в условиях маршей. Меандрирующий характер песчаного тела, а также соседство его с угольными пластами свидетельствует о том, что оно образовалось в русле реки, протекавшей через низину, которая представляла собой, вероятно, прибрежную дельтовую равнину.

Интересный пример песчаных образований, выполняющих русла протоков, показан на рис. 67. Отдельные песчаные тела, слагаемые этими песчаниками, закартированы в обнажениях. На основе экстраполяции сделан вывод о том, что они относятся к разветвляющейся системе протоков. Эти песчаные тела находятся внутри глин Берпо верхнемелового возраста в Центральной Монтане, которые залегают почти горизонтально. Характер системы русел, развитых в глинах Берпо, хотя они и меньше по размеру, очень похож на русла дельты, установленной вблизи Волгограда в СССР в отложениях нижнего карбона, а также на дельтовые русла, выполненные песчаниками Буч пенсильванского возраста в Оклахоме. Мощность этих линзообразных (шнурковых) песков, развитых в глинах Берпо, достигает 20 м, ширина их — 2 км. Отдельные песчаные тела были прослежены в об-

нажениях на расстояние в несколько километров. Они состоят из светло-серых, от мелко- до грубозернистых плотных косо-слоистых песчаников, содержащих окатыши из аргиллитов и обильные обугленные растительные остатки. Сверху и снизу они перекрываются алевритами и глинами. Полагают, что эти песчаные тела образовались в руслах проток, составляющих часть дельтового комплекса Берпо, который продвигался в восточном направлении.

В зоне распространения рассмотренных выше песчаных тел (см. рис. 67) стратиграфически ниже их известно нефтегазовое месторождение Лейк-Бейсин, связанное с куполообразным поднятием. Песчаники Берпо в этом месте обнажаются. Несомненно, там, где песчаные тела находятся на глубине, в них могут быть выявлены залежи углеводородов в структурно-стратиграфических ловушках.

Нефтяные и газовые месторождения

Нефтяные и газовые месторождения в песчаных телах проток и дельтового обрамления выявлены в отложениях от позднего палеозоя до среднего кайнозоя. Из них четыре месторождения известны в отложениях пенсильвания, два — в породах миссисипия, три — в разрезе образований мелового возраста и четыре — в породах третичного возраста. Из рассматриваемых здесь примеров восемь находятся в США, два — в Канаде и по одному — в Венесуэле, Нигерии и СССР. Эта выборка, конечно, не является представительной для мира в целом или для Северной Америки, поскольку она основана на очень ограниченном числе примеров.

Нефтяные месторождения, связанные с песчаниками Буч в Оклахоме

Песчаники Буч, входящие в состав свиты Мак-Алестер раннепенсильванского возраста, выполняют в округе Семинол в Оклахоме (рис. 68) разветвляющуюся систему проток, которая развита на территории шириной, по крайней мере, 112 км. Эта система проток, воды в которой текли в южном направлении, состояла из главного русла и второстепенных. В главном русле были отложены песчаные тела, мощность которых превышает 60 м, во второстепенных руслах мощность песчаных тел не превышает 30 м. На рис. 68 показана схематическая карта распространения этой сложной системы песчаных тел. В северо-восточной части рассматриваемого района преобладающим развитием пользуется верхняя пачка песчаников Буч, а на юго-западе главным образом нижние пачки этой песчаной толщи. Д. А. Буш [Busch D. A., 1971] считает, что протоки, в которых

отложены песчаные образования Буч, принадлежат к крупной дельтовой системе, которая была развита в бассейне Аркома и охватывала площадь примерно 5120 км². Следует отметить, что сложная форма русел, составляющих современную дельту

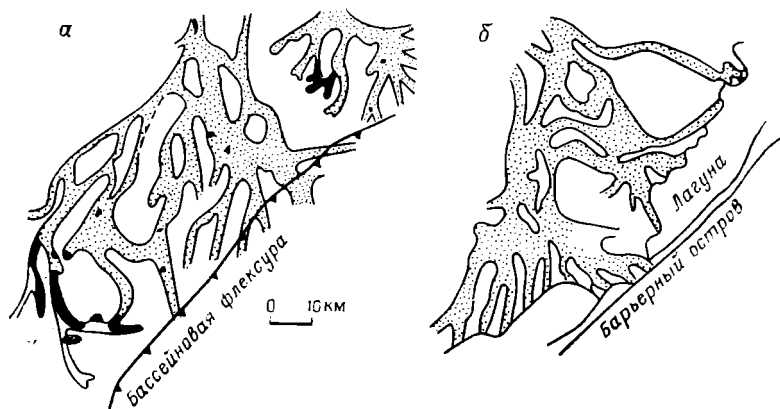


Рис. 68. Карты распределения русловых песчаников [Dickey P. A. and Rohn R. E., 1958; Busch D. A., 1953; Busch D. A., 1971]

а — размещение песчаников Буч в разрезе пенсильванской свиты Мак-Алестер, в округе Семинол, Оклахома; *б* — размещение современных русловых песчаников в дельте р. Рио-Гранде

Продуктивные песчаники Буч залиты черным цветом

р. Рио-Гранде в Техасе, по своим размерам и форме сравнима с дельтовой системой Буч (см. рис. 68). На рис. 68, *б* показано местоположение современных протоков дельты р. Рио-Гранде. Нарастание дельты происходит через лагуну, где ее современная протяженность ограничена действием волн и течениями, которые формируют барьерный остров. В результате постоянного изменения своего направления протоками образована сложная система извилистых линзообразных песчаных тел. Песчаники Буч в большинстве своем сложены мелкозернистыми, плотными разностями с довольно высоким (в среднем 15%) содержанием глинистого материала. Проницаемость их значительно улучшается в тех местах, где песчаники представлены средне- и грубозернистыми разностями.

Известны многочисленные месторождения с залежами в отложениях песчаников Буч. При этом большая часть залежей приурочена не к главному руслу, где мощность песчаников наибольшая, а к более маломощным песчаным образованиям подчиненных (второстепенных) русел. Многие залежи контролируются стратиграфическими ловушками в чистом виде. Такие ловушки образованы в результате наличия барьеров проницаемо-

сти. Последние локализованы там, где песчаники выклиниваются или замещаются глинами и алевритами, которые были отложены в условиях пойменных болот, располагавшихся между протоками. Ряд залежей заключен в комбинированных ловушках, где наряду со стратиграфическим играет роль структурный фактор. Такие ловушки образуются в местах пересечения проницаемых песчаных зон, развитых в протоках, структурными носами, погружающимися в западном направлении. Месторождение Хокинс находится в краевой юго-западной части дельты Буч (см. рис. 68). Продуктивные на нем песчаники Буч показаны на рис. 69. На этом рисунке представлена карта мощности нефтеносной пачки; сложенной песчаными телами, выполняющими протоку, которая приурочена в стратиграфическом отношении к средней части толщи Буч. Эта нефтеносная пачка песчаников была отложена в главном русле, которое протягивалось примерно с севера на юг и разветвлялось в юго-восточном и юго-западном направлениях. Максимальная мощность песчаников в главном русле составляет 10 м. Ловушка образовалась в результате пространственного совпадения этих линзообразных песчаных тел с локальным «поднятием», которое возникло в результате уплотнения. Д. А. Бушем [Busch D. A., 1971] установлено, что объем добычи зависит от мощности песчаника. Там, где мощность песчаника увеличена, соответственно больше и добыча нефти.

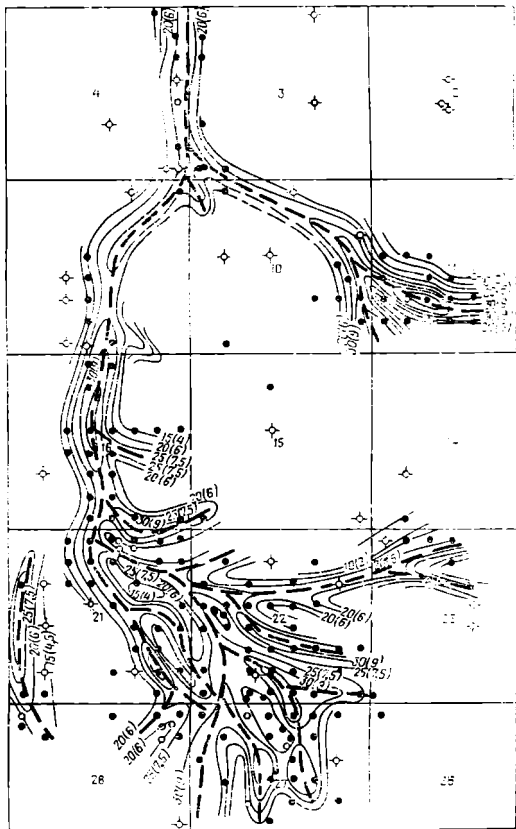


Рис. 69. Карта мощности нефтеносной средней пачки песчаников Буч в разрезе святы Мак-Алестер пенсильванского возраста, Оклахома. Показанный участок охватывает площадь нефтяного месторождения Хокинс [Busch D. A., 1971]

Сечение изопакит 5 футов (1,5 м)

На газовом месторождении Саут-Пайн-Холлоу (рис. 70) добыча газа осуществляется из нижней части песчаников Хартсхорн нижнепенсильванского возраста. Эти песчаники являются базальной пачкой свиты Де-Мойн. Они подстилаются отложе-

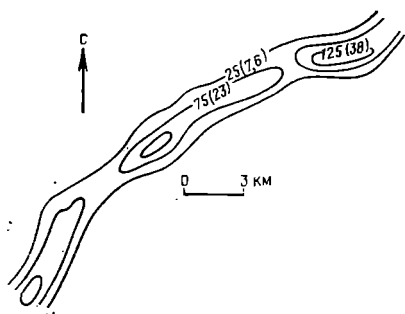


Рис. 70. Карта эффективной мощности нижней части песчаников Хартсхорн пенсильванского возраста на газовом месторождении Саут-Пайн-Холлоу, округ Питтсбург, Оклахома [McDaniel G. T., 1968]
Сечение изопакит 50 футов (15 м)

ниями свиты Атока и перекрываются породами свиты Мак-Алестер, содержащей в своем разрезе песчаники Буч.

Песчаники Хартсхорн слагают линейно вытянутое песчаное тело, которое интерпретируется как образование дельтовой протоки. Это песчаное тело прослежено в длину более чем на 25 км. Оно имеет довольно постоянную ширину, примерно 2—3 км, а общая мощность его превышает 60 м. Эффективная мощность песчаного тела составляет примерно половину общей его мощности, а в некоторых местах достигает 40 м. Проницаемость и пористость пород увеличиваются в наиболее мощной части песчаного тела.

Следует отметить, что песчаные тела залегают в структурных понижениях. Ловушка, контролирующая скопления газа, сформирована за счет только стратиграфических факторов, таких как изменение пористости, проницаемости и мощности песчаников. Извлекаемые запасы газа месторождения Саут-Пайн-Холлоу оцениваются в 2,8 млрд. м³.

Покровское нефтяное месторождение, СССР

Покровское месторождение (рис. 71) находится на юге центральной части СССР. Нефть на нем добывается из протяженного изгибающегося песчаного тела, заключенного в глинистых слоях, перекрываемых и подстилаемых известняками каменноугольного возраста. Бурением установлена протяженность песчаного тела почти 15 км. Оно имеет ширину до 2 км, а максимальная его мощность составляет 10 м.

Полагают, что эти песчаники образовались из русловых песков, отложенных протокой, которая протекала по плоской прибрежной равнине в период кратковременного подъема суши,

которому предшествовало и за которым следовало развитие карбонатных банок. Песчаники кварцевые, мелко- и среднезернистые, хорошо отсортированные. Средняя их пористость составляет 20%, проницаемость довольно высокая, наблюдается тен-

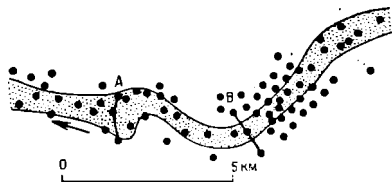
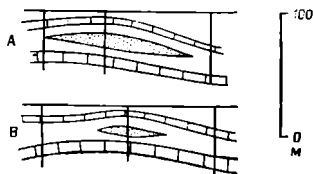


Рис. 71. Карта и разрезы Покровского нефтяного месторождения, расположенного на Русской платформе в СССР [Марковский Н. И., 1965]

Нефтеносные песчаники были отложены рекой, протекавшей в направлении, указанном стрелкой



денция увеличения ее в тех местах песчаного тела, где мощность его больше, и оно сложено более грубозернистыми разностями. Данные бурения показывают, что залежи нефти контролируются главным образом стратиграфическими факторами, в частности, особенностями распространения тел. Поиски залежей нефти в этом песчаном теле связаны с большими трудностями.

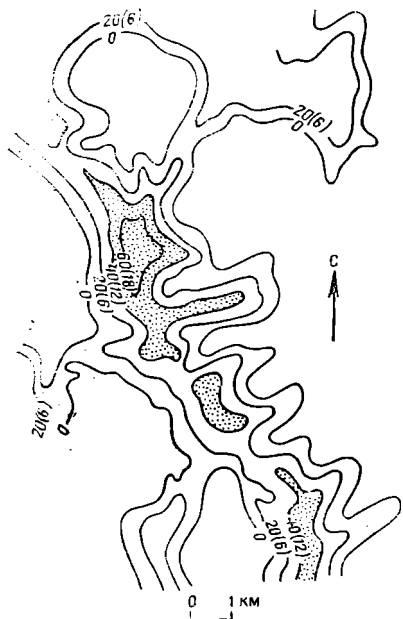
Нефтяное месторождение Ист-Таскиги, Оклахома

Песчаники Майснер — один из главных продуктивных объектов на месторождении Ист-Таскиги. Из них получают здесь нефть плотностью 0,830 г/см³. Эти песчаники залегают с несогласием на отложениях ордовика и согласно перекрываются нижнемиссисипскими глинами Чаттануга, которые представляют собой широко распространенную диахронную толщу. Верхняя часть песчаников Майснер сложена главным образом зернами кварца, форма которых от угловатой до окатанной. По данным Дж. Ф. Бордена и Р. А. Бранта [Vorben J. F. and Brant R. A., 1941], в этой части песчаников встречаются конодонты и фосфатные гастролиты. Нижняя часть представлена грубозернистыми разностями, обычно галечниковыми, кварцевыми с обильным количеством зерен кремня.

По вопросу о генезисе этого песчаника существуют различные точки зрения. Л. Х. Уайт [White L. H., 1928] считает их эоловыми. По мнению Дж. Ф. Бордена и Р. А. Бранта [Vorben J. F. and Brant R. A., 1941], эти песчаники были отложены в прибрежных морских условиях. Стратиграфическое положение этих песчаников, залегающих непосредственно на поверхно-

сти несогласия, а также грубозернистый состав их нижней части свидетельствуют в пользу их речного образования, по крайней мере, их нижней части. В период отложения песчаных образова-

ний Майснер поверхность суши была довольно плоской и находилась почти на уровне моря, что приводило к обширным трансгрессиям моря в период времени образования глин Чаттануга. Поэтому нет ничего удивительного в том, что в верхней части песчаников Майснер содержится морская фауна. Особенности распространения песчаников Майснер и характер изменения их мощности показаны на рис. 72. Из него видна сложная картина песчаного тела распределительной протоки. Оно было переработано в своей верхней части трансгрессирующим морем, возможно, в условиях эстуария.



*Нефтяное месторождение
Дейл-Консолидейтед, Иллинойс*

Рис. 72. Карта мощности песчаников Майснер миссисипского возраста на нефтяном месторождении Ист-Таскиги, округ Крик, Оклахома [Barden J. F., Brant R. A., 1941]

Сечение изопакит 20 футов (6 м)

На нефтяном месторождении Дейл-Консолидейтед, расположенном в Иллинойсе, добыча нефти производится из песчаников Хардинсберг верхнемиссисипского возраста — одного из неф-

тегазоносных песчаных горизонтов в разрезе комплекса Честер (см. рис. 65). На рис. 73 виден резкий эрозионный контакт песчаников Хардинсберг с подстилающими его слоями и уменьшение вверх по разрезу среднего размера зерен слагающих его пород в верхней части. Такие особенности характерны для ряда горизонтов песчаников, развитых в разрезе комплекса Честер. Они свидетельствуют о том, что такие песчаники являются образованиями руслового заполнения. Использование в качестве репера пласта известняка, залегающего вблизи подошвы песчаников Хардинсберг, позволило реконструировать первоначальную форму русла и высказать предположение, что в тот период, когда русло было первоначально заполнено более грубозернистым песком, который характеризуется блоковой формой кривой ПС, пласт известняка, взятый в качестве маркирующего, и другие пласты, залегающие ниже эрозионного русла, имели пологий региональный наклон.

И. Е. Поттер и другие [Potter P. E. et al., 1958] считают, что песчаники Хардинсберг и песчаные горизонты в разрезе комплекса Честер образовались за счет разрушения ранее существовавших отложений, поскольку они кварцевые и состоят почти нацело из умеренно и хорошо окатанных зерен. Признаком того, что эти песчаники речные и представляют собой образования руслового выполнения, является развитие в них косой слоистости. Указанием на такое условие их образования служит также их стратиграфическое соотношение в разрезе с угольными пластами. Последнее свидетельствует о том, что русла меандрировали в пределах заболоченной дельтовой равнины.

Нефтяное месторождение Белшилл-Лейк, Альберта

На месторождении Белшилл-Лейк, расположенном в восточной части Центральной Альберты, нефть добывают из песчаников Эллерсли. Эти песчаники являются базальной пачкой серии Блэрмор верхнемелового возраста.

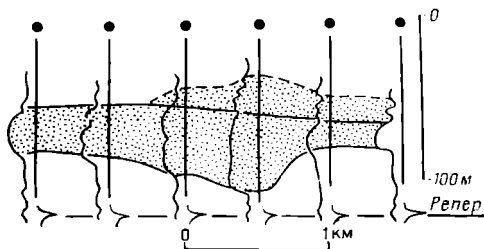


Рис. 73. Стратиграфический разрез песчаников Хардинсберг верхнемелового возраста, выполняющих русло на месторождении Дейл-Консолидейтл, округ Гамильтон, Иллинойс [Potter P. E. et al., 1958]

Песчаники Эллерсли представлены кварцевыми разностями, образовавшимися в результате разрушения докембрийских пород. Они выполняют широкую долину, протягивающуюся с востока на запад (см. рис. 39, 40), которая врезана в эродированную поверхность карбонатных отложений девонского возраста. Характерной чертой песчаников является широкое развитие в них косой слоистости, что указывает на их речной генезис. Палеогеографические реконструкции, выполненные Ч. Э. Б. Конибиром [Conybeare C. E. V., 1972], позволяют предположить, что эта река текла в восточном направлении со стороны докембрийского щита в направлении нежнемелового моря, трансгрессировавшего в южном направлении. Трансгрессия впоследствии привела к затоплению речной системы, где ранее накопились песчаные образования Эллерсли. В результате этого последние оказались перекрытыми образованиями эстуарий, прибрежных маршей и осадками засоленных и пресноводных озер.

На рис. 74 показана часть русел мелководного потока, который меандрировал на прибрежной равнине и его отложения в настоящее время перекрывают речные образования Эллерсли на месторождении Белшилл-Лейк. В данном случае скопление углеводородов в песчаном теле меандрирующего потока не яв-

ляется столь значительным, как те, которые выявлены в ниже-залегающих речных песчаниках Эллерсли. Однако в тех местах, где такие дугообразные тела более мощны и морфологически более резко выпуклы вверх по восстанию, они могут образовать очень хорошие стратиграфические ловушки для нефти и газа. Пример похожей ловушки приводил Р. Мартин [Martin K., 1966], который отметил, что на месторождении Хофенден, где добыча нефти производится также из отложений Эллерсли, ловушка в них образована там, где выполненная глинистыми отложениями меандра пересекает породы-коллекторы по их простиранию. В обоих случаях ловушка образуется в месте

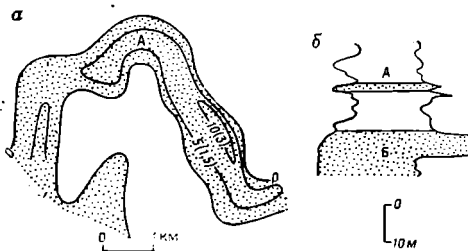


Рис. 74. Карта мощности пачки А песчаника Манвилл (а), залегающего в нижней части серии Блэрмор на месторождении Белшилл-Лейк в Альберте, и электрокаротажные кривые (б), показывающие соотношения песчаника А с нефтеносным базальным кварцевым песчаником В свиты Эллерсли на месторождении Белшилл-Лейк

Сечение изопакит 5 футов (1,5 м)

контакта меандрирующей петли и регионального падения пород. Однако на рис. 74 ловушкой является петля, заполненная песчаными породами, в то время как в примере, приводимом Р. Мартином, ловушка находится в пределах петли, заполненной песчаными отложениями Эллерсли, в том месте, где они местами экранятся глинами, заполняющими более молодую петлю. Другие примеры подобного типа приводит Ч. Э. Б. Конибир [Conybeare, C. E. B., 1972], В. Г. Суиндон [Swindon V. G., 1968] и Дж. Ф. Трушо [Truchot J. F., 1963].

Песчаники Эллерсли кварцевые, косослоистые, от мелко- до грубозернистых. Мощность их достигает 75 м. Пористость и проницаемость колеблются в широких пределах и в некоторой степени определяются местной цементацией за счет кальцита и глинистых минералов. На месторождении Белшилл-Лейк пористость и проницаемость колеблются соответственно в интервалах 25—28% и 1000—1500 мД. При этом проницаемость местами достигает 6000 мД, но в среднем она равна 600 мД. Основной проблемой при эксплуатации месторождения является прорыв в нефтеносные коллекторы пластовых вод. Плотность нефти 0,887 г/см³. Нефть содержит значительное количество растворенного газа (в 1 т нефти примерно 20 м³ газа). Геологические запасы нефти месторождения оцениваются примерно в 24 млн. т, но обводнение продуктивных пластов в процессе эксплуатации и другие трудности, по-видимому, не позволяют извлечь из недр месторождения более чем 5 млн. т.

На месторождении Пембина промышленные скопления нефти встречаются в различных горизонтах меловых отложений. Главным продуктивным горизонтом является песчаник Кардайум верхнемелового возраста, залегающий на месторождении примерно на 300 м ниже базальной песчаной пачки свиты Белли-Ривер верхнемелового возраста. Эта базальная пачка также нефтеносна. Она развита на всей площади месторождения и залегает на морских глинах, слагающих свиту Ли-Парк верхнемелового возраста. Эта пачка диахронна. Она сложена двумя типами пород разного генезиса или более. Здесь встречаются морские прибрежные пески, а также песчаные образования, вы-

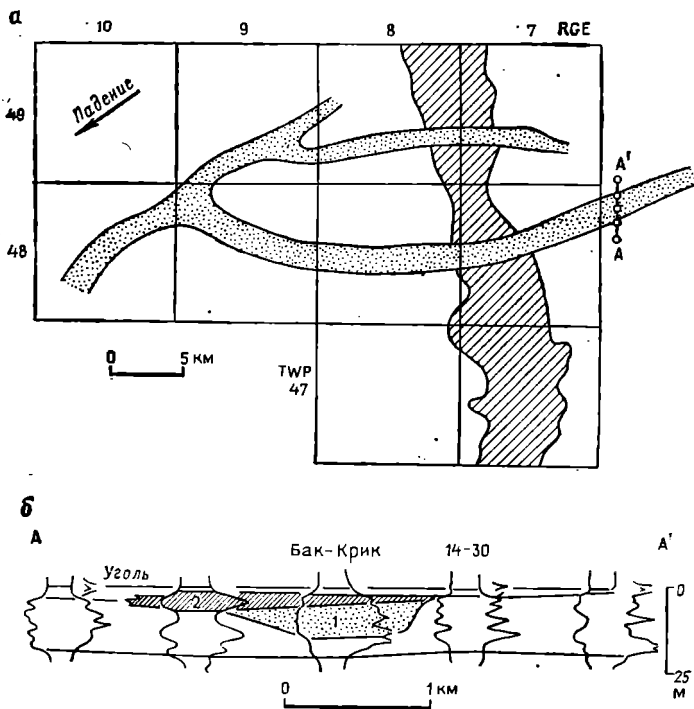


Рис. 75. Карта (а) и стратиграфический разрез (б) по линии А—А' характеризующие закономерности в осадконакоплении базальных песчаников свиты Белли-Ривер верхнемелового возраста на месторождении Пембина в Альберте [Conybeare С. Е. В., 1964, 1972]

На карте показаны пески речных проток (заполнены точками), пересекающие морские вдольбереговые пески (заштрихованы линиями). Заштрихованные точками и линиями зоны очерчивают места, где мощность песчаников более 9 м. Стрелкой указано примерное направление регионального падения. На разрезе показано, что пески от грубо-среднезернистых (1), заполняющие нижнюю часть русла, перекрываются тонкозернистыми песками (2). Последние в свою очередь перекрываются алевроитами и пластом угля.

полняющие русла, врезанные в морские пески протоками продвигающейся в восточном направлении дельты Белли-Ривер. Морские пески обычно мелкозернистые. Они характеризуются низкими значениями пористости и проницаемости. Напротив, русловые пески более грубозернисты и лучше проницаемы. Залежь Белли-Ривер приурочена к одному из таких русел (рис. 75).

Продуктивные песчаники плотные. Они состоят из зерен кварца, кварцита, кремня, полевых шпатов и изверженных пород, источник сноса которых находится на западе. Песчаники сложены грубо- и среднезернистыми разностями в подошве пачки и мелкозернистыми в ее кровле. Они перекрываются аргиллитами, содержащими тонкий пласт угля. Максимальная мощность песчаников составляет 20 м, ширина русла, которое они выполняют, равна примерно 2 км. Максимальная эффективная мощность коллектора 10 м. Пористость в среднем составляет 18%, а проницаемость изменяется в широких пределах. Залежь приурочена к стратиграфической ловушке в чистом виде. Нефть находится в тех частях песчаников, где мощность их наибольшая, и они представлены грубозернистыми разностями. Залежь экранируется барьерами проницаемости, развитыми вдоль бортов русла.

Геологические запасы нефти в залежи Белли-Ривер составляют более 4 млн. т. Плотность нефти 0,845 г/см³. Однако извлекаемые запасы оцениваются всего в 0,3 млн. т. Залежь эксплуатируется на режиме растворенного газа. В начальный период ее разработки в 1 т нефти содержалось 50 м³ газа. Добыча нефти осуществляется в объеме 3,4—4,0 т/сут на скважину.

Нефтяные месторождения Афиесере и Эриему, Нигерия

Продуктивные песчаники на месторождениях Афиесере и Эриему (рис. 76), расположенных в дельте Нигера, Нигерия, приурочены к песчаным отложениям от нижнемелового до палеоценового возраста, слагающим барьерные бары и дельтовые протоки. Эта серия сложно построенных песчаных тел, образовавшихся в общем в паралической обстановке, содержится в разрезе циклической толщи осадочных пород, отложенных в условиях отступающего моря. Толщу слагают снизу морские глины, сменяющиеся вверх по разрезу флювиально-морскими отложениями — чередующимися алевритами и песками. Венчается разрез песками, слагающими барьерные бары и выполняющими русла. Каждый цикл, мощность отложений которого колеблется от 15 до 100 м, завершается морской трансгрессией. Этой трансгрессией была размыта верхняя часть отложений предыдущего цикла, характеризовавшихся регрессивным прилеганием, и был отложен тонкий слой грубозернистого глауконитового песка с ископаемыми остатками. Эти трансгрессии, по-видимому, были

местными. Они были обусловлены латеральным смещением течения главной речной артерии. В результате этих трансгрессий морские воды накатывались и откатывались в пределах фронта дельты, образуя толщи с несогласным регрессивным прилеганием всюду, где вторгались морские воды.

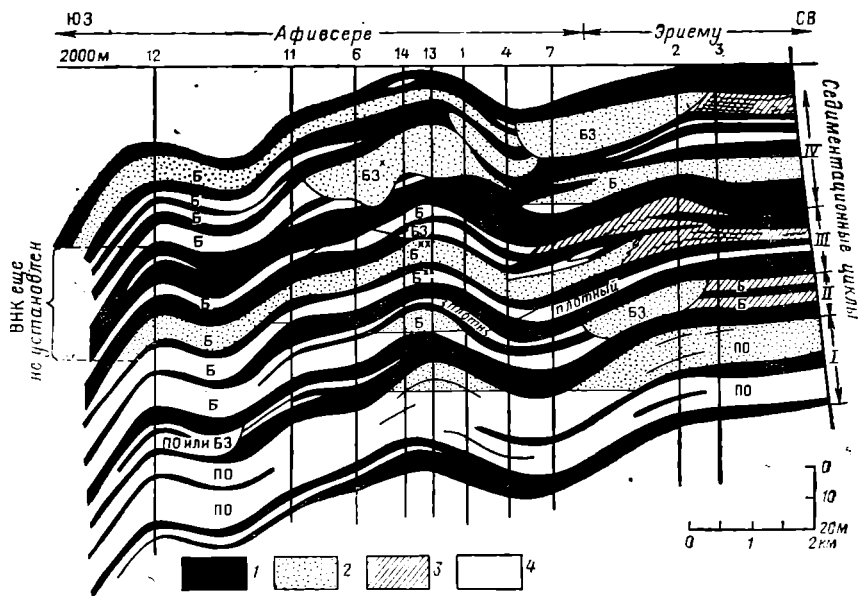


Рис. 76. Профиль через нефтяные месторождения Афисере и Эриему, расположенные в дельте Нигера, Нигерия [Weber K. J., 1971]

1 — сланец, переслаивание сланцев и песчаников, лигнит; 2 — нефтеносный песок; 3 — песок, насыщенный на 25% нефтью; 4 — водоносный песок.

Б — барьерный песок, БЗ — русловое заполнение, ПО — прирусловая отмель.

* См. рис. 17, ** См. рис. 16. [Weber K. J., 1971]

На рис. 76 показаны отдельные пласты-коллекторы в отложениях, слагающих барьерный бар и заполняющих русло, которые представлены песчаниками верхнемелового и палеоценового возраста.

Длина отдельных барьерных баров на месторождениях Афисере и Эриему достигает 20 км, ширина их несколько километров, а мощность слагающих их песчаных пород достигает 12 м. Они сложены в основном мелкозернистым в различной степени отсортированным песком. Как видно из рис. 76, эти бары пересекаются руслами, выполненными песками, которые являются более грубозернистыми. Ловушки для нефти и газа в этих песчаных образованиях, слагающих барьерные бары и русла, формируются там, где в песчаной толще встречаются разделы, сложенные аргиллитами, слонстыми песчаниками алевролитами и лигнитами. Ловушки в них в основном стратиграфические, но местами встречаются и сводовые, связанные с пологими вытяну-

тыми куполами, называемыми структурами «роллер» [Weber K. J., 1971]. Эти структуры связаны с растущими сбросами. Образование последних, как полагают, вызвано действием гравитационного скольжения и некоторым вращением блока некогсидированных осадков в период образования дельты.

Нефтяные и газовые месторождения с продуктивными горизонтами в отложениях Уилкоккс, Техас

В техасской части побережья бассейна Мексиканского залива США на ряде нефтяных и газовых месторождений многочисленные продуктивные горизонты имеются в отложениях, слагающих нижнюю часть серии Уилкоккс нижнеэоценового возраста. Мощность нижней части серии Уилкоккс достигает 1500 м. Она представлена песчаниками, алевролитами, известняками и аргиллитами. Вся эта толща является образованиями дельты (рис. 77), форма и размеры которой похожи на форму и разме-



Рис. 77. Схема распространения систем осадконакопления отложений нижней части серии Уилкоккс (нижний эоцен) в Техасе [Fischer W. L., McGowen J. H., 1969]

ры современной дельты Миссисипи. Дж. В. Шелтон [Shelton J. W., 1973] отметил, что к этой толще, известной как дельтовая система Рокдейл, приурочена 80% известных залежей, выявленных в нижней части серии Уилкоккс. Система Рокдейл характеризуется наличием протягивающихся в южном направлении языков дельты [Fisher W. L. and McGowen J. H., 1969], сложенных главным образом песчаниками. Суммарная мощность песчаников в отложениях системы Рокдейл колеблется от 750 до 30 м и менее (в южной части распространения, где система Рокдейл выклинивается в сторону моря).

Песчаники Уилкоккс кварцевые, обычно от мелко- до среднезернистых. Их пористость составляет в среднем 20%, а проницаемость около 100 мД. Для них обычно наличие мелковыраженной косои слоистости и присутствие обугленных растительных остатков, местами обильных.

Чередувание продельтовых глинистых пород с песками, слагающими барьерные бары и выполняющими русла, а также с песками, образовавшимися в литоральных условиях, явилось благоприятным условием образования многочисленных самостоятельных продуктивных горизонтов в разрезе этой толщи, ко-

торые похожи на продуктивные пласты месторождений Афиесере и Эриему в Нигерии (см. рис. 76). В. Л. Фишер и Дж. Х. МакГовен [Fisher W. L., McGowen J. H., 1969] считают, что наиболее значительными месторождениями с продуктивными горизонтами такого типа являются месторождения Фолл-Сити, Шеридан, Колумбус, Лейк-Крик, Нью-Улм и Куиксанд-Крик. Большинство залежей в разрезе нижней части серии Уилкокс приурочено к стратиграфическим ловушкам. Однако местами встречаются и комбинированные ловушки. Они находятся в тех местах, где растущие сбросы и диапировые структуры, развитые в наиболее мощных частях языков дельты, совпадают со стратиграфическими зонами.

Нефтяное месторождение Силингсон, Техас

Одним из важнейших нефтеносных горизонтов на месторождении Силингсон в Техасе является горизонт 19-*b* в разрезе олигоценá. Этот горизонт развит в известной зоне нефтегазонакопления Фрайо-Виксберг. Он сложен песчаниками и протягивается в виде пояса неправильной формы в восточном направлении, где прослежен примерно на 11 км. Ширина его 3—8 км. Форма этого пояса песчаников, расположенного в направлении, примерно перпендикулярном к зоне простирания морского седиментационного бассейна, в котором были отложены залегающие по соседству морские песчаники в разрезе олигоцена, позволяет предположить, что слагающие песчаный пояс породы были отложены разветвляющейся речной системой в пределах дельтовой равнины. На площади месторождения Силингсон зафиксировано три русла второго порядка шириной 1000—2000 м, ответвляющихся от главного русла, ширина которого более 2000 м. Из карты мощности горизонта 19-*b* (рис. 78) видно, что песчаное тело, заполняющее главное русло, имеет максимальную мощность более 20 м; мощность песчаников, выполняющих русла второго порядка, составляет 6—12 м. Песчаное тело интерпретируется как образование речного рукава [Nanz R. H., 1954].

Песчаники в основном плотные. Они содержат обломки различных пород и полевых шпатов, а также включают в себя до 50% кварца и 5—20% внутриворонных алевролитов и глин. Песчаные тела, развитые в горизонте 19-*b*, обычно сложены хорошо отсортированным материалом. Они представлены тонко- и среднезернистыми разностями. При этом наблюдается отчетливый переход от более грубозернистых разностей внизу к более мелкозернистым в верхней части песчаного тела, что характерно для речных отложений. Среди осадочных текстур в песчаниках наиболее характерна мелковыраженная косая слоистость. В песчаниках присутствуют также обломки аргиллитов, которые, по-видимому, образовались в результате эрозии растрескавшейся глинистой корки, развитой вдоль берегов реки. Резкие

изменения величин пористости и проницаемости свидетельствуют о том, что первоначальный состав песчаных образований не был однородным: наблюдалось чередование чистых песков с алевроитистыми и глинистыми. Местная цементация за счет развития вторичного кальцита и иллита также снижает пористость и проницаемость пород.

Ловушка в горизонте 19-*b* образовалась в результате пространственного совпадения проницаемых интервалов песчаников, выполняющих русла, с тремя пологими куполообразными поднятиями, расположенными на олущенном крыле крупного нор-

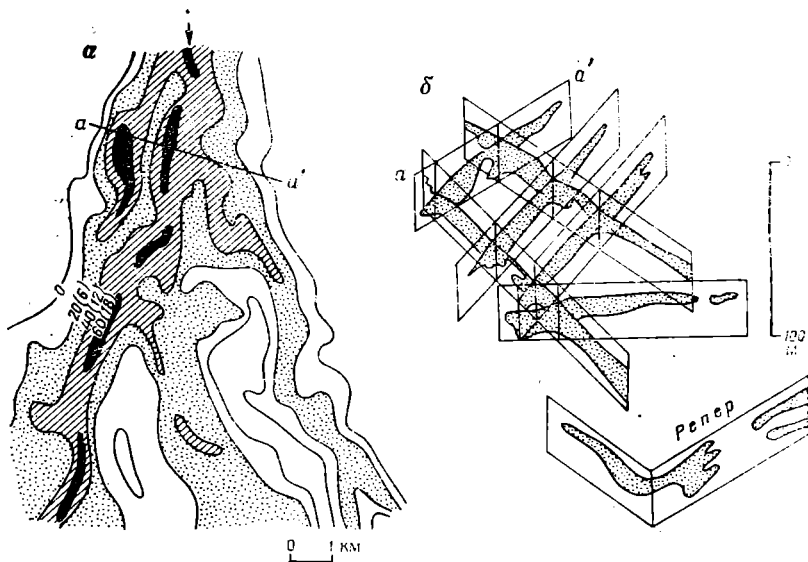


Рис. 78. Карта мощности (а) песчаников 19-*b* олигоценевого возраста на месторождении Силигсон, побережье Мексиканского залива, Техас и блок-диаграмма (б), показывающая распространение песчаников 19-*a* на месторождении Силигсон [Nanz R. H., 1954]

Сечение изобахит 20 футов (6 м)

мального сброса. Несмотря на то, что горизонт 19-*b* является важнейшим на месторождении, здесь имеется еще несколько продуктивных горизонтов. Дж. В. Шелтон [Shelton J. W., 1973 а, в] на стр. 30 писал: «На месторождении Силигсон имеется более 40 песчаных пачек. Все они развиты неравномерно на площади месторождения. В сочетании со структурными формами они образуют более 140 самостоятельных пластов-коллекторов. Эти песчаные пачки присутствуют в толще мощностью до 457 м, выделяемой под названием Фрайо, возраст которой олигоценый (или миоценовый). Считается, что эта толща не местного происхождения».

На месторождении Остра в Венесуэле (рис. 79) добыча нефти осуществляется из линзообразных песчаных тел, развитых в разрезе свиты Офисина олигоценового возраста. Эти песчаные тела характеризуются не только свойственной им ярко выраженной линзообразностью, но и тем, что они относительно маломощны. Обычно их мощность не превышает 12 м, лишь местами достигает 60 м. Эти песчаные тела залегают на континентальных отложениях свиты Меркьюр олигоценового возраста. Их счита-

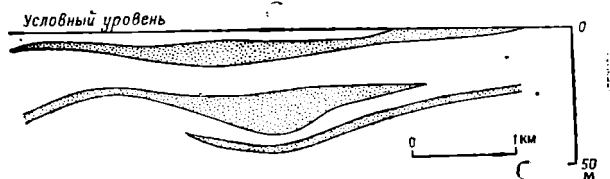


Рис. 79. Разрез нефтеносных русловых песков свиты Офисина олигоценового возраста на месторождении Остра, Венесуэла [Young G. A., 1971]

ют образованиями, выполняющими дельтовые протоки и прибрежного обрамления дельты. Г. А. Янг [Young G. A., 1971] на стр. 250 писал: «Эти песчаники являются частью циклической толщи, сложенной алевритами, лигнитами, песчаниками, глинами и аргиллитами, которые были отложены в дельтовых и параллических условиях в результате неоднократной смены лагунно-болотных солонатоводных и мелководноморских условий».

Линзы песчаников разделяются слоями глин, которые служат эффективной крышкой для нефти. Несмотря на то что они местами деформированы в результате уплотнения пород, в целом песчаные линзы очень слабо затронуты складчатостью. Скопления нефти приурочены к структурно-стратиграфическим ловушкам, которые образованы сочетанием сбросов с выклиниванием песчаных тел к их периферии. Условия осадкообразования нефтеносных песчаных тел и их структурно-стратиграфические особенности подобны тем, которые свойственны эоценовым продуктивным пластам, развитым в дельте Нигера в Нигерии и олигоценовым пластам в зоне Фрайо-Виксберг в прибрежной части бассейна Мексиканского залива в США.

Нефтяное месторождение Мейн-Пасс, Блок-35, Луизиана

Добыча нефти на месторождении Мейн-Пасс, Блок-35 (рис. 80), расположенном в дельте Миссисипи, в Луизиане, осуществляется из песчаников G-2 миоценового возраста. Эти песчаники образовались из песков, выполнявших дельтовую прото-

ку. По своему составу они кварцевые, но содержат до 20% обломочных пород и полевого шпата. В общем песчаники чистые, хорошо отсортированные и мелкозернистые. В среднем пористость и проницаемость составляют соответственно 34% и 3000 мД в наиболее мощных частях песчаного тела, сложенного грубозернистыми разностями, однако снижаются до 29% и 75 мД в маломощных частях песчаного тела. Эти песчаные тела примыкают к отложениям берегового намывного вала и тыльной части склона, образованных мелкозернистыми песчаниками и алевритами. Основное песчаное тело, заполняющее русло,

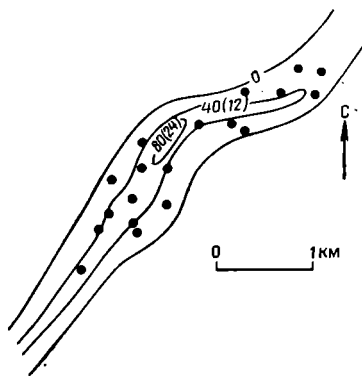


Рис. 80. Карта эффективной мощности русловых песчаников G-2 миоценового возраста с указанием продуктивных из него окважин на месторождения Мейн-Пасс, Блок-35 в дельте р. Миссисипи, Луизиана [Hartman J. A., 1972]

Сечение изопакит 40 футов (12 м)

имеет ширину 600—900 м. Максимальная его мощность достигает более 25 м. На площади месторождения это песчаное тело прослежено бурением более чем на 5 км.

Скопление нефти в песчаниках G-2 приурочено к комбинированной ловушке, в образовании которой играют роль стратиграфический и структурный факторы. Нефть содержится там, где линейно вытянутое песчаное тело пересекает нарушенный сбросом купол. Дж. А. Хартмен [Hartman J. A., 1972] указывает, что песчаник G-2, который является важнейшим продуктивным горизонтом на месторождении Мейн-Пасс, Блок-35, представляет собой классический пример нефтеносного песчаника, выполняющего русло. На месторождении продуктивны 23 самостоятельных песчаных тела. Извлекаемые запасы содержащейся в них нефти оцениваются в 14 млн. т. Более 1,6 млн. т приходится на долю песчаников G-2. Добыча нефти на месторождении осуществляется при активном водонапорном режиме.

БАРЬЕРНЫЕ И ДРУГИЕ ПРИБРЕЖНЫЕ БАРЫ

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Барьерные и другие прибрежные бары представляют собой линейно вытянутые песчаные тела, мощность которых обычно составляет 5—15 м. Барьерные бары обнажаются выше уровня моря в виде барьерных островов, которые нередко образуют цепочки, протягивающиеся на многие километры вдоль основной береговой линии. Они отделяют лагуны и береговые заливы от открытого моря (рис. 81, 82).

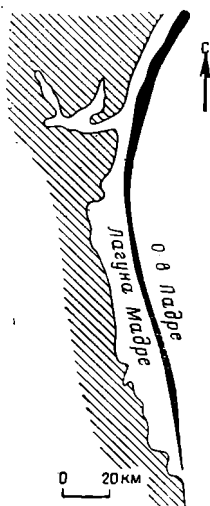
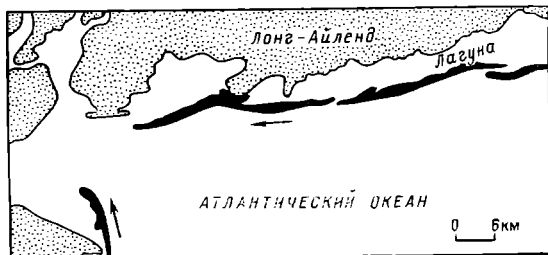


Рис. 81. Барьерный о-в Падре у побережья Техаса, Мексиканский залив [Rusnak G. A., 1960]

Рис. 82. Прибрежные бары Лонг-Айленд, Нью-Йорк [Bass N. W., 1934]

Стрелки показывают направление вдольбереговых течений



На рис. 81 видно, что барьерный о-в Падре в Мексиканском заливе отделяется от открытого моря лагуной Мадре, которая находится между островом и материком. Соотношение и географическое распространение прибрежных баров показано также на рис. 82. Ширина этих островов обычно более 1,5 км, длина — несколько километров. Прибрежные бары могут развиваться также внутри открытой части залива, где морской край мелководья погружается в глубоководную часть, или образовывать косу за пределами мыса.

Морской берег барьерного острова формирует от почти прямого до слабо изогнутого ровный пляж, омываемый волнами и течениями, которые вымывают из него песок и переносят его как в море, так и вдоль берега. Лагунный берег барьерного острова неровный, с многочисленными заливами и береговыми равнинами илистых песков и маршей. Такие острова, которые выраста-

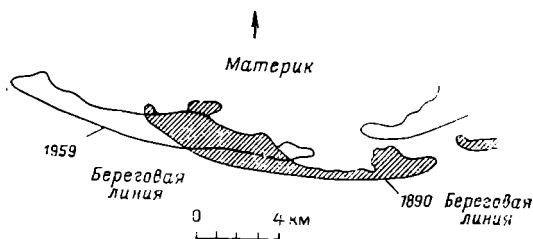


Рис. 83. Миграция о-ва Тембалье в Луизиане в сторону материка и в западном направлении в период 1890—1959 гг. в результате северо-западных смещений береговых течений [Otvos E. C., 1970]

ют из прибрежных баров внутри залива, или те, которые образуют косы, обычно имеют аналогичные характеристики береговой линии.

Площадь островной части большинства песчаных тел составляет меньше половины всей их площади. Очертания их и со стороны суши, и со стороны моря одинаково неровны, как это показано на картах изопахит барьерных баров как современных, так и древних. Бесперывно перемещаясь, хотя и не всегда с постоянной скоростью, эти острова имеют тенденцию мигрировать параллельно главной береговой линии в направлении вдольбереговых течений (рис. 83). Окончание каждого острова, расположенное вверх по течению, последовательно эродировано. При этом песок транспортируется вдоль внешнего берега и отлагается на всем протяжении пляжей со стороны моря и на конце острова, ориентированного вниз по течению, где он может формировать косу. Волновая деятельность перемещает песок вверх по аккумулятивному склону к пляжам, исключая периоды особенно высоких приливов и сильных штормов, когда пляжи эродированы и большие массы песка переносятся вдоль берега. Часть песка переносится в сторону суши через остров в период штормов, а часть перемещается в сторону суши в виде песчаных дюн.

Неодинаковые скорости эрозии и накопления, а также изменения в скоростях потока в приливных каналах между соседними островами приводят к слиянию или дальнейшему разделению островов, хотя подводное распространение песка может образовывать единое песчаное тело. В некоторых случаях остров может смещаться в обратном направлении и занимать свое первоначальное положение. Тогда в скважине, пробуренной в пределах

такого острова, наблюдаются два песчаных тела, разделенных алевритами или глинами. Обычно эти песчаные тела не полностью разделены, а латерально сливаются вкрест простирания или по простиранию, если их рассматривать в трех измерениях.

Типичный профиль простого барьерного бара показан на рис. 84. Его поверхность, выступающая над уровнем моря и

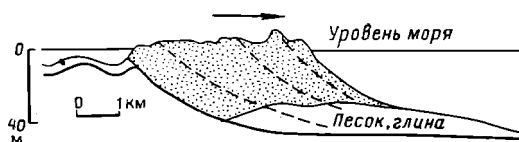


Рис. 84. Профильный разрез типичного барьерного острова у берега Мексиканского залива [Bernard M. A., LeBlanc R. J. and Major C. F., 1962]

формирующая барьерный остров, имеет неровный рельеф, образованный песчаными дюнами. Морской склон выражен слабо ундулирующей временной поверхностью, на которой зернистость песка изменяется от более грубой на пляже, где энергия волн и течений выше, до тонкой в глубоководной части, где тонкозернистый песок переходит в алеврит и глину. Субпараллельные морскому склону более древние временные поверхности лежат внутри песчаного тела. Следы пересечения таких временных поверхностей с плоскостью поперечного профиля барьерного бара показаны на рис. 84 пунктирными линиями. Хотя эти поверхности не всегда видны и, как правило, их трудно бывает обнаружить с помощью геофизических методов в довольно однородном песчаном теле, иногда все же удается выделить для отдельной части изучаемой площади такую временную границу, которая является полезной временной стратиграфической маркирующей поверхностью. Это можно осуществить в тех местах, где она может быть опознана по какой-либо седиментологической характеристике или по ископаемым организмам. Соответствие каждой временной поверхности своему определенному аккумуляционному склону ясно указывает на характер накопления песка на всем протяжении внебереговых пляжей, заключающийся в формировании последовательности слоев, смещающихся в сторону моря. Как следствие постепенного перехода осадков на аккумулятивном склоне от грубых песков на пляже до более тонких песчаных алевритов и ила в более глубоководных частях наблюдается изменение зернистости песка внутри песчаного тела от кровли к подошве, обратное изменению, которое фиксируется в русловых речных песках.

Пески барьерных и других прибрежных баров имеют континентальное происхождение. Сначала они были перенесены по распределительным руслам дельтовых протоков к песчаным телам баровых пальцев, а затем подхвачены и сметены вдольбереговыми

ми течениями и волнами. На рис. 85 показаны конфигурация барьерного острова, латеральное протяжение слагающего его верхнего песчаного тела *A* и профильный разрез комплекса барьерного острова. У Гранд-Айл, Луизиана (рис. 85) песок тонкозер-

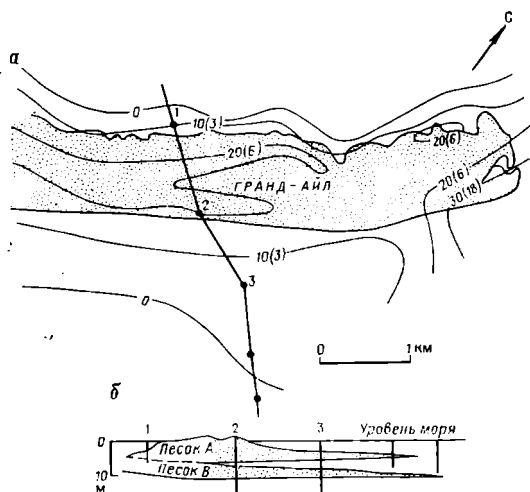


Рис. 85. Карта (а) и профильный разрез (б) комплекса барьерного о-ва Гранд-Айл, Луизиана (восточное окончание) [Conatser W. E., 1971] Сечение изолит 10 футов (3 м)

нистый, местами илистый и состоит приблизительно на 80% из кварца и на 20% из полевого шпата. Местами линзообразные слои гравия или галечникового песка могут присутствовать внутри барьерного бара, формируясь там, где топографические условия вызывали усиленное вымывание песка. Наличие косої слоистости также является характерной особенностью их внутреннего строения. Однако в большинстве случаев она отличается малыми (менее 10°) углами наклона в отличие от больших углов наклона косої слоистости, свойственной отложениям речного типа. В барьерных и других барах эффект косої слоистости обычно отражает изменение аккумулятивных склонов ундулирующей отмели, но также может быть результатом деятельности течений, вызванных движением прилива через каналы между барами. В таких каналах может быть развит тип косої слоистости с крутыми углами, похожий на тот, который наблюдается в речных отложениях, слагающих прирусловые отмели. Соотношение косої слоистости с геометрией барьерного бара, который продвигается в мигрирующий приливной канал, не совсем ясно.

Зерна отложений, слагающих разрез межприливного пляжа, ориентированы в общем перпендикулярно к береговой линии. Длинные оси песчаных зерен расположены при этом примерно параллельно преобладающему направлению перемещения, вызванного волнами и приливами, двигающимися вверх и вниз по

этому пляжевому склону. Эти фации современного пляжа, вероятно, редко сохраняются в геологической летописи, хотя и известно такое исключение, отмеченное Дж. В. Шелтоном [Shelton J. W. and Mack D. E., 1970, p. 1108], который пишет: «Ориентировка зерен нормальна к песчаному тренду самого нижнего горизонта песчаников Игл около Биллингса в Монтане. Укладка зерен в этом барьерно-баровом песчанике свидетельствует о том, что накатывающийся прибой был наиболее важным источником накопления осадков во время местного наращивания их в западном направлении». Внутри той части песчаного тела, которая была сформирована в более глубоководных условиях, где преобладали течения, направленные вдоль берега, наблюдается ориентировка зерен песчаного материала, параллельная берегу и соответственно направлению тренда песчаного тела. Эти более глубоководные фации, отложенные в нескольких сотнях метров от берега в сторону моря, обычно сохраняются в геологических разрезах. Существенный вывод состоит в том, что для песчаных трендов связь между ориентировкой зерен и формой песчаного тела может быть важным критерием для их поисков, хотя этот показатель следует использовать с некоторой осторожностью.

Электрокаротажная характеристика

Внутри разрастающегося барьерного бара или других прибрежных баров изменение зернистости от более грубой сверху до более тонкой внизу отражено в характере электрокаротажной кривой спонтанной поляризации (собственного потенциала), которая имеет тенденцию к воронкообразной форме. Как уже ранее отмечалось, эта форма противоположна той, которая наблюдается у речных песков, где зернистость изменяется от более грубой внизу к более тонкой сверху. Характер кривой собственного потенциала косвенно связан с размером песчаных зерен и прямо — с петрофизическими свойствами цементирующей среды песков. В песках, которые не подвержены глубоким изменениям в процессе эпигенеза и цементации, имеется связь между размером зерен и содержанием глин. Более грубые пески чище, чем более тонкие, и соответственно более проницаемы.

Типичная электрокаротажная характеристика барьерного бара, как это видно в морском трансгрессивном разрезе, проиллюстрирована Пирсоном [Pirson S. J., 1970], а также Ч. Э. Б. Конибиром и Р. Г. К. Иессоном [Conybeare C. E. V. and Jessop R. G. C., 1972] на рис. 86. Очень показательна воронкообразная форма кривой собственного потенциала эоценовых песков. У песков, развитых в нижней части миоценового барьерного комплекса, наблюдаются те же самые характеристики, что и у песков, залегающих в верхней его части, однако залегающие в кровле пески имеют тенденцию к блоковой форме кривой, что,

вероятно, отражает довольно однообразный размер зерен и незначительные изменения в содержании тонкозернистого глинистого материала по разрезу. Нижнемеловой комплекс останце-

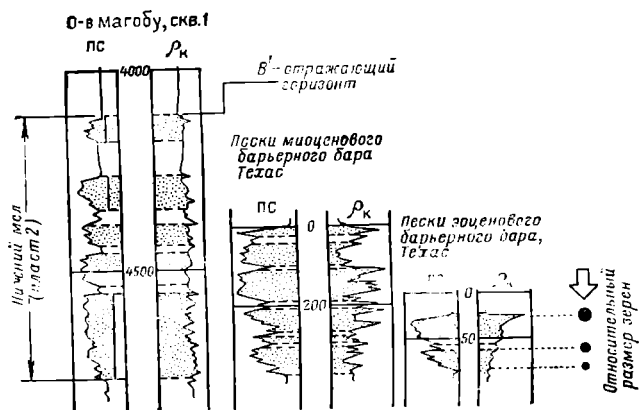


Рис. 86. Электрокаротажные разрезы третичных барьерных баров в Техасе и нижнемелового песчаника в Папуа, показывающие сходство конфигурации кривых и соотношение характеристик собственного потенциала с изменением зернистости [Conybeare C. E. V. and Jessop R. G. C., 1972]

образных песчаных тел характеризуется электрокаротажной характеристикой, сходной с таковой миоценовых баров, и также интерпретируется как последовательность перекрывающихся друг друга морских песков, сформированных, вероятно, как барьерные бары. Эти песчаные тела представлены кварцевыми разностями и имеют хорошую пористость и проницаемость. В рассматриваемом местонахождении они разделены аргиллитом, но в других местах могут сливаться в разных направлениях, как это показано на рис. 85.

Уплотнение

Уплотнение глинистых осадков, обрамляющих отложения барьерного бара и переслаивающихся с ними, может привести к трудностям при реконструкции палеогеоморфологических соотношений различных песчаных тел внутри барьерного бара. На рис. 87 и 88 в качестве примера рассмотрен нижнемеловой комплекс морских береговых песков, вскрытый скв. 1 Магобу-Айленд в Папуа. На рис. 88 приведена карта равных интервальных времен между эрозионной поверхностью нижнего мела (отражающий горизонт B) и кровлей комплекса песчаного мела (отражающий горизонт B'). На основании анализа этой карты можно предположить наличие линейно вытянутого в северо-западном направлении песчаного тела в районе Магобу, а также

развитие северо-восточнее более мощной зоны песков вдоль параллельного тренда. Однако стратиграфическое соотношение этого песчаного тела или тел с таковым, развитым в районе Магобу, неизвестно. Следовательно, сомнительна и любая палеогеоморфологическая интерпретация. Рис. 87 основан на двух

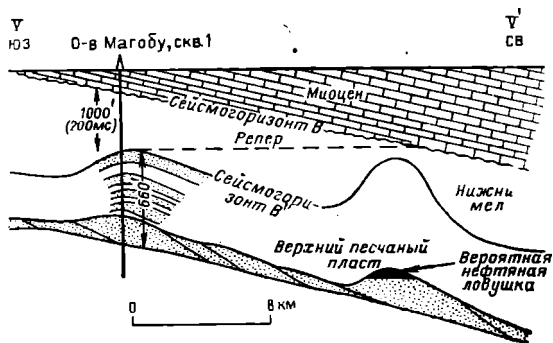


Рис. 87. Схематический структурный разрез по профилю $V—V'$, показывающий предполагаемые соотношения сейсмического отражающего горизонта B' с конфигурацией нижнемелового песчаника (пласт 2) в районе Флай-Ривер, Папуа [Conybeare C. E. B. and Jessop R. G. C., 1972]

предпосылка: во-первых, что эрозионная поверхность верхнего мела, которая перекрывается мелководным морским известняком, довольно плоская и слабо наклонена и, во-вторых, что по существу тот же комплекс песчаных тел, что и в Магобу, присутствует в северо-восточном тренде. Можно интерпретировать эти данные и иначе, если исходить из тех же структурных соотношений между отражающими горизонтами B и B' , как указано выше, считая, что в северо-восточном тренде присутствует лишь самое верхнее песчаное тело из тех, что развиты в районе Магобу. Согласно еще одному варианту интерпретации можно сделать вывод, что отражающий сейсмогоризонт B' соответствует эрозионной впадине, развитой в пределах северо-западного тренда, где присутствует только самое нижнее песчаное тело. Возможны и другие варианты интерпретации, показывающие сбросы или исходящие из некоррелируемости горизонта B' .

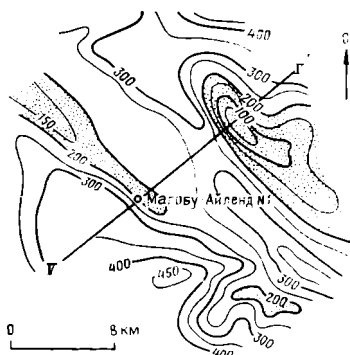


Рис. 88. Карта равных интервальных времен между отражающими сейсмическими горизонтами B и B' линия профиля $V—V'$ и топография песчаного пласта 2 показаны на рис. 87 [Conybeare C. E. B. and Jessop R. G. C., 1972]

Параллельные тренды песчаных тел, сформированные из несогласно прилегающих барьерно-баровых и других песчаных комплексов, могут содержать отличные ловушки для нефти и газа, особенно там, где они пересекаются антиклиналями, куполами и сбросами. Такие ловушки со структурными модификациями в существенной мере являются палеогеоморфологическими и стратиграфическими. Их открытие в некоторых случаях во многом зависит от интерпретации эффектов уплотнения внутри и на обрамлении известного или предполагаемого барьерного комплекса.

Древние песчаные тела

Известны многочисленные примеры древних барьерных и других песчаных баров. Многие из них охарактеризованы в литературе, а некоторые описаны здесь в последующем разделе, посвященном месторождениям нефти и газа. Только малый процент известных примеров настолько хорошо представлен в обнажениях, чтобы можно было видеть непрерывные разрезы, измеряемые несколькими километрами поперек барового тренда. Один из таких примеров выражен нижней частью верхнемелового песчаника Игл (рис. 89), который обнажен в части

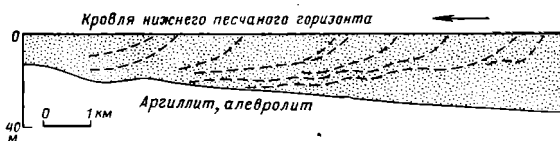


Рис. 89. Профильный разрез верхнемелового песчаника Игл, который образует гребневую скалу в обнажении у Биллингса, Монтана [Shelton J. W., 1965]

пород барового гребня около Биллингса в Монтане, и был описан Дж. В. Шелтоном [Shelton J. W., 1965].

Нижняя часть песчаников Игл сложена хорошо отсортированными, крепкими, глауконитовыми морскими песчаниками. В них виден снизу вверх переход в размере зерен от очень тонких до тонких. Простираение тренда северо-северо-западное. Установленная протяженность 65 км, ширина 30—50 км и максимальная мощность 30 м. Для верхней части этой пачки характерна косая слоистость с малыми углами наклона (менее 10°). Такая косая слоистость могла образоваться под влиянием постоянных изменений в аккумулятивных склонах песчаного тела, по-видимому, в той его части, которая отлагалась на слишком большой глубине и не могла быть подвержена действию низкого прилива. Поэтому она и сохранилась в геологическом разрезе. Характерной чертой нижней части разреза является наличие биотурбации. На рис. 89 следы пересечения плоскостей наслоения с поверхностью обнажения показаны

пунктирными линиями. Они имеют то же соотношение с геоморфологией барьерного бара, как это показано на рис. 84, и указывают на продвижение последнего в направлении береговой линии, как это следует из реконструкции палеогеографических условий. Такое географическое соотношение позволяет предположить, что барьерный бар располагался на мелководном континентальном шельфе, более чем в 80 км от берега, по направлению к которому он надстраивался. В такой географической ситуации бар, который внешне и внутренне имеет черты барьерного бара, фактически, вероятно, не образует барьера.

Нефтяные и газовые месторождения

Нефтяные и газовые месторождения в барьерных и других прибрежных барах хорошо освещены в литературе, где они часто описывались начиная с 20-х годов. Фактически, многие из ранее описанных песчаных тел, отнесенных к барам, впоследствии были квалифицированы как образования распределительных русел дельтовых проток. Из-за отсутствия критериев, адекватно интерпретирующих происхождение некоторых содержащих углеводороды линзовидных и линейно вытянутых песчаных тел, геологи обычно относили их к барам. В отдельных случаях термин бар использовался, вероятно, только для описания морфологии песчаного тела, безотносительно к его происхождению. В других случаях только намекалось на связь их происхождения с барьерным баром или с другим прибрежным баром. До 60-х годов не было геологов, которые описывали бы такие песчаные тела более точными геоморфологическими терминами. Несмотря на это, геологи не всегда придерживались единой точки зрения в отношении интерпретации имеющихся данных и даже в начале 70-х годов эти расхождения были явными. Например, описывая месторождение Риклус в Вайоминге, где продуктивен песчаник Риклус в основании нижнемеловой свиты Мадди, Дж. Вонсик [Wonsik J., 1972] интерпретировал его как барьерный остров. Между тем Дж. М. Форготсон и П. Х. Старк [Forgotson J. M. and Stark P. H., 1972] интерпретировали это песчаное тело как русловое заполнение.

Интерпретация условий образования и палеогеоморфологии песчаного тела может быть чрезвычайно важной в тех случаях, когда проводится дальнейшая разведка и освоение нефтяной площади. Правильная интерпретация позволяет точнее проследить дальнейшее распространение песчаного тела.

Далее рассмотрены 18 примеров нефтяных и газовых скоплений в отложениях барьерных и других прибрежных баров. Все они по Северной Америке за исключением одного примера по Бразилии. Возраст их продуктивных горизонтов колеблется от девона до третичных (исключая отложения триаса и юры). Более половины рассмотренных скоплений приходится на долю по-

род мелового возраста. По сравнению с примерами скоплений нефти и газа в песчаных телах распределительных речных и других русловых заполнений, число примеров скоплений в барах слишком мало и не является представительным, чтобы судить об их возрастном и географическом распространении в глобальном масштабе. Это распространение в значительной мере отражает степень изученности бурением того или иного региона. Гораздо больше примеров скоплений углеводородов можно было бы привести в эоценовых и миоценовых барах, протягивающихся параллельно побережью Мексиканского залива. При этом выявляется, что большинство таких залежей в меловых и третичных отложениях относится к Северной Америке.

Газонефтяное месторождение Шайра-Стрик, Пенсильвания

На месторождении Шайра-Стрик в Пенсильвании продуктивны песчаники Шайра, залегающие в верхней части Третьего песчаного интервала в разрезе верхнедевонской толщи Венанго (рис. 90). Этот песчаник Шайра, который покрывается и подсти-

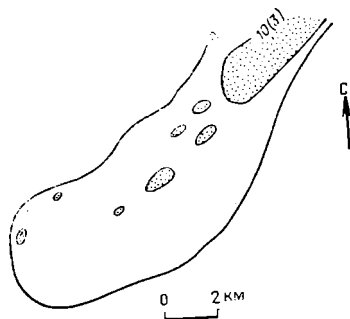


Рис. 90. Карта равных мощностей песчаника Шайра в верхнедевонской группе Венанго, нефтяное месторождение Шайра-Стрик, Пенсильвания [Sherrill R. E., Dickey P. A. and Matheson L. S., 1941]

Сечение изопакит 10 футов (3 м)

ляется темно-серыми глинистыми сланцами, — кварцевый, от средне- до крупнозернистого, с локальными линзами кварцевого гравия, содержащего гальки диаметром до 2,5 см. Песчаник мощностью до 5 м образует тонкое линзовидное тело длиной более чем 20 км и шириной до 5 км. Р. Е. Шеррилл, П. А. Дикей и Л. С. Матесон [Sherrill R. E., Dickey P. A. and Matheson L. S., 1941] считают, что во время отложения песчаника Шайра континентальная обстановка была на юго-востоке, а морская — на северо-западе. Они высказали предположение, что песчаник является образованием прибрежного бара. Если это так, то его формирование должно было происходить в очень мелкой воде, вероятно, при его частичном обнажении в виде пляжа, подверженного эродирующему и вымывающему действию волн и течений. Грубость песка и присутствие гальки указывает на то, что, если это и был прибрежный бар, то он должен был бы находиться поблизости от берега.

Основная залежь на месторождении Шайра-Стрик, из которой осуществляется добыча нефти плотностью $0,802 \text{ г/см}^3$, связана по существу с неструктурной ловушкой. Другие скопления на площади Шайра, дающие в основном газ, размещаются дальше вверх по восстанию пласта, где тренд песчаного тела пересекается малоамплитудной складкой, погружающейся на юго-восток.

Третий песчаный интервал (рис. 91) включает два основных песчаных тела, верхнее из которых сложено песчаниками Шайра.

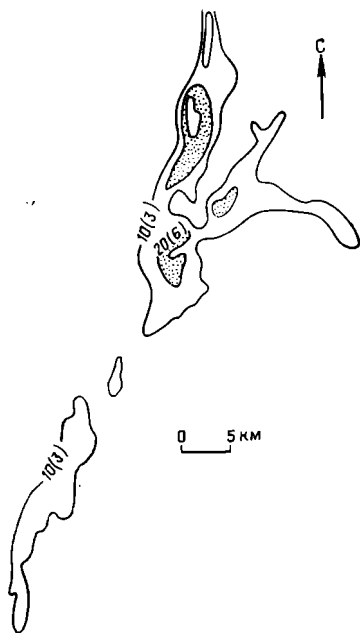
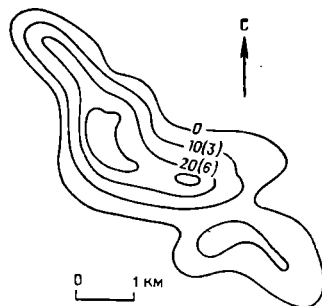


Рис. 91. Карта равных мощностей Третьего песчаного интервала, верхнедевонская группа Венанго, Пенсильвания [Sherrill R. E., Dickey P. A. and Matheson L. S., 1941]

Сечение изопакит 10 футов (3 м)

Рис. 92. Карта равных мощностей песка Мичиган-Стрей в миссисипской свите Мичиган, газовое месторождение Остин, Мичиган [Ball M. W., Weaver T. J., Crider H. D. and Ball D. S., 1941]

Сечение изопакит 10 футов (3 м)



Несколько нефтяных и газовых скоплений известно в Третьем песчаном интервале. Первоначально несколько скважин фонтанировали нефтью дебитом до 405 т/сут из наиболее проницаемых зон в галечниковых, грубопесчаных участках, и начальные дебиты многих скважин достигали до 14 т/сут. Дебиты жирного газа были также рекордными и составляли 85—113 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. Многие из этих залежей давно выработаны и не имеют в настоящее время никакого экономического значения. Р. Е. Шеррилл, П. А. Дикей и Л. С. Матесон [Sherrill R. E., Dickey P. A. and Matheson L. S., 1941, p. 509] пишут: «Продуктивные пески в этом округе залегают на малых глубинах — обычно менее чем на 300 м. Рассмотренные залежи открыты в течение 1859—1900 гг. Они были выявлены в результате бурения наугад, вблизи от выходов нефти или при бурении на продолжении этих трен-

дов. Многие из них частично или совсем забрасывались, но затем бурение возобновлялось в промежутках между старыми участками, и в скважины закачивались вода, газ и применялись другие вторичные методы».

Газовое месторождение Остин, Мичиган

На месторождении Остин (рис. 92) добывают газ из песчаных отложений Мичиган-Стрей в разрезе миссисипской свиты Мичиган. Форма песчаного тела Мичиган-Стрей, с которым связано месторождение Остин, показано на рис. 92. Песчаные образования Мичиган-Стрей залегают с несогласием на эродированной поверхности более древних миссисипских пород и не прослеживаются повсеместно. Они встречаются в виде отдельных песчаных тел на протяжении 50—65 км. М. В. Болл, Т. Дж. Уивер, Х. Д. Крайдер и Д. С. Болл [Ball M. W., Weaver T. J., Crider H. D. and Ball D. S., 1941] интерпретируют эти песчаные тела как прибрежные бары, построенные на эрозионных хребтах предмиссисипского антиклинального тренда, который они перекрывают и направлению этого тренда они более или менее следуют. Авторы указывают далее на значительное соответствие между структурной конфигурацией и мощностью песчаного тела на месторождении Остин. Наибольшая мощность тела находится там, где оно залегают наиболее высоко. Учитывая тот факт, что не указано положение базисного уровня, необходимого для палеоструктурной и палеогеоморфологической интерпретации приведенной карты изопахит, принятая авторами интерпретация первоначальной формы песчаного тела сомнительна. Эти разобщенные песчаные тела были отложены на поверхности несогласия и покрываются доломитистыми и гипсоносными илами, которые, вероятно, указывают на литоральную и эвапоритовую обстановки, изменяющиеся от очень мелководных до иловых прибрежных равнин. Отложенные трансгрессировавшим морем, эти песчаные тела, возможно, накапливались в эрозионных депрессиях, а не как песчаные бары, которые начинают строиться со дна моря. Такая альтернативная интерпретация может быть осуществлена исходя из тех же данных бурения. Она может быть основана на тех принципах, которые обсуждались в разделе, посвященном уплотнению песчаных тел (см. рис. 10, 11).

Песчаное тело Остин имеет длину примерно 8 км и ширину до 2 км. Максимальная мощность песчаника 10—12 м, и, как пишут М. В. Болл, Т. Дж. Уивер, Х. Д. Крайдер и Д. С. Болл [Ball M. W., Weaver T. J., Crider H. D. and Ball D. S., 1941], он более проницаем там, где мощнее. Месторождение Остин — это одно из газовых месторождений, в разрезе которого продуктивны песчаники Мичиган-Стрей. Первоначальные запасы газа месторождения составляли 4,2 млрд. м³.

В округах Батлер и Гринвуд, в Канзасе, многочисленные нефтяные месторождения образуют цепь северо-восточного простирания, известную как тренд Саллиардс (рис. 93). Более короткая цепь нефтяных месторождений, тренд Титер, протягивается приблизительно параллельно тренду Саллиардс вдоль границы между округами Чейс и Гринвуд. Три других тренда (с юга на север), известные как Хаверхилл, Квиней и Ламонт, пересекают более или менее под прямым углом и в различных горизонтах тренд Саллиардс. Все нефтяные месторождения, группирующиеся вдоль этих трендов, содержат залежи в «шнурковых» песчаных телах, развитых в нижней части серии Чероки (нижний — средний пенсильваний).

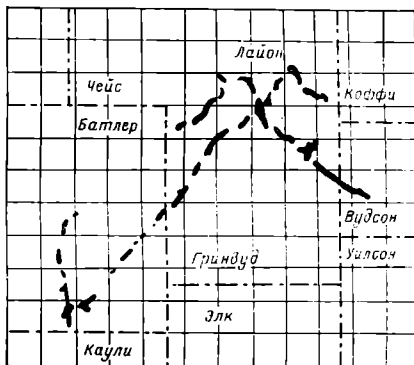


Рис. 93. Географическое распространение нефтяных месторождений в шнурковых песчаных трендах в нижней части пенсильванской серии Чероки Канзас [Hilrman P., 1958]

Эти песчаные тела образуют удлиненные линзы мощностью 15—30 м, длиной до 10 км и шириной более чем 2 км. Вытянутые в линейные зоны, подобные ожерельям

из бус, они образуют тренды длиной до 100 км и интерпретировались Н. В. Бассом [Bass N. W., 1936] и П. Хиллменом [Hilrman P., 1958] как прибрежные бары. Песчаные тела полностью окружены глинистыми сланцами, содержащими очень большое количество органического вещества. В верхней части серии Чероки эти сланцы с высоким содержанием органического вещества содержат также угольные пласты и нефтеносные шнурковые песчаные тела. Месторождение Буш-Сити (см. рис. 31) приурочено к одному из таких песчаных тел. Последние интерпретируются здесь как пески, заполняющие распределительные рукава дельты.

Песчаники, развитые в тренде Саллиардс и в других связанных с ним трендах, кварцевые, слабо сцементированные, тонкозернистые. Суммарная добыча нефти из них к 1970 г. достигла 34 млн. т.

Нефтяные и газовые месторождения зоны Уэйкита, Оклахома

К тренду Уэйкита, расположенному в бассейне Анадарко в Оклахоме, приурочено несколько отдельных нефтяных и газовых скоплений в пенсильванском песчанике Ред-Форк (рис. 94).

Последний включает серию песчаных тел, образующих дугообразный тренд, интерпретируемый как последовательность параллельных прибрежных баров. Согласно той же интерпретации, эти бары пересекаются двумя более молодыми изогнутыми трендами, представляющими собой песчаные заполнения более моло-

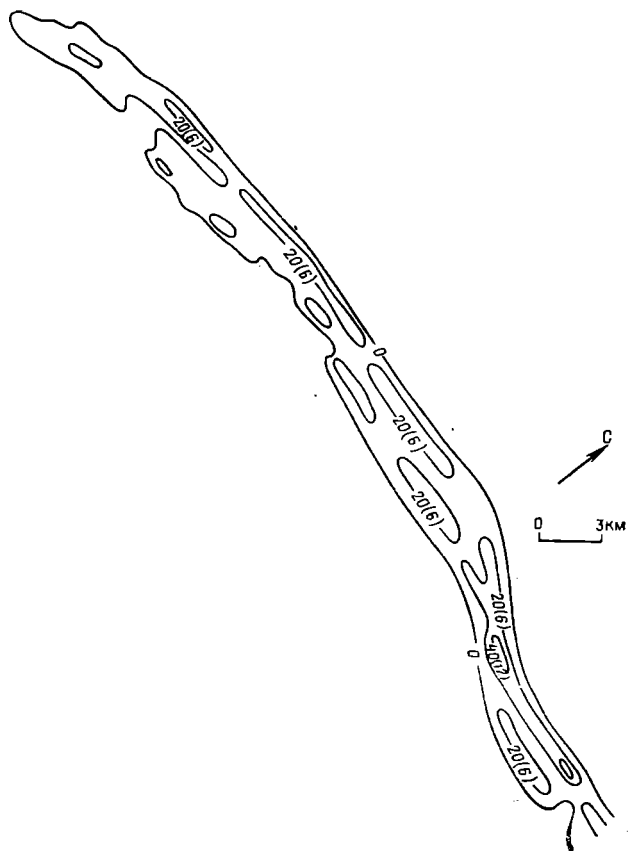


Рис. 94. Карта равных мощностей песчаного тренда Уэйкита, пенсильванский песчаник Ред-Форк, округи Грант и Алфалфа, Оклахома, показывающая простираение сложных прибрежных баров с востока на запад [Withrow P. С., 1968]

Сечение изопакит 20 футов (6 м)

дых распределительных каналов. Тренд Уэйкита, который имеет длину более чем 50 км и ширину 2—3 км, сформирован в течение поздней фазы отложения прибрежных баров. Этот тренд, содержащий три бара, которые шире в основании, чем у вершины, резко ограничен с обеих сторон утонением песчаных тел, пере-

сланцающихся с глинистыми сланцами. Песчаные тела, слагающие тренд Уэйкита, имеют максимальную мощность 15 м и состоят из тонкого и тонкозернистого кварцевого песчаника, обычно слюдистого и местами глинистого. Цементация кальцитом и кремнеземом снизила пористость и проницаемость песчаника, которые в среднем соответственно составляют 15% и 2 мД.

В течение первого десятилетия эксплуатации, после открытия тренда Уэйкита в 1953 г., из его месторождений было добыто более 67,5 тыс. т нефти, главным образом в западной половине тренда. Кроме того, добывается газ преимущественно в восточной части тренда. Извлекаемые запасы его достигают 1,8 млрд. м³. П. К. Уитров [Withrow P. C., 1968] отмечает, что к тренду Уэйкита приурочены в общем малопродуктивные коллекторы, однако в отложениях Ред-Форк в бассейне Анадарко встречаются значительно более продуктивные коллекторы и что на основе сделанной интерпретации условий осадконакопления песчаных трендов Ред-Форк в них могут быть обнаружены новые дополнительные скопления углеводородов.

Нефтяное месторождение Олимпик, Оклахома

На нефтяном месторождении Олимпик в Оклахоме объектом эксплуатации является песчаник Олимпик (рис. 95) пенсильванского возраста, развитый в виде линейно вытянутого тренда длиной более 10 км и шириной до 2 км. Этот песчаник мощностью более 20 м включает два перекрывающихся друг друга внахлестку песчаных тела или более, интерпретируемых как прибрежные бары. Песчаник кварцевый, хорошо отсортированный, тонкозернистый. Местами встречаются тонкие прослои песчаных сланцев и углистые обломки. Средняя пористость и проницаемость его составляют соответственно 20% и 35 мД.

Пласт Олимпик погружается в северо-восточном направлении и местами образует пологие структурные носы. Скопления нефти приурочены в основном к стратиграфическим ловушкам, но с некоторым структурным контролем. Добыча зеленато-черной нефти плотностью 0,85 г/см³ осуществляется на месторождении с относительно малых глубин — около 550 м. К настоящему времени из его недр уже извлечено свыше 1,6 млн. т нефти.

Нефтяные месторождения зоны Мата-Кату, Бразилия

В бассейне Реконкаво на площади Сальвадор в Бразилии (рис. 96) нефть получают из нескольких пластов в нижнемеловом песчанике А свиты Итапарика. Этот песчаный горизонт образует два узких параллельных тренда и один более широкий, так что более широкий и менее выраженный тренд субпараллелен двум другим. Самый длинный тренд Мата-Кату имеет длину

40 км и ширину 3—5 км. Песчаные тела, составляющие этот тренд, имеют максимальную мощность 45 м. Песчаник А белый до светло-серого, преимущественно кварцевый, от очень тонкого до грубозернистого. Местами он содержит в своем составе гра-

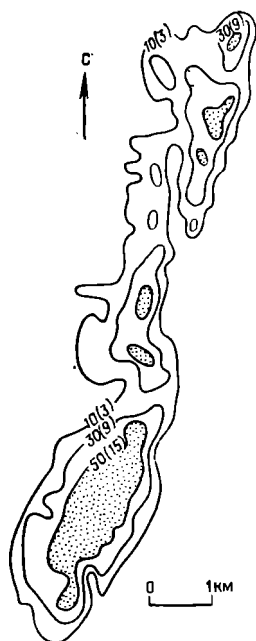


Рис. 95. Карта равных мощностей пенсильванского песчаника Олимпик, нефтяное месторождение Олимпик, округ Окфаски, Оклахома [Dillard W. R., 1941]

Сечение изопахит 20 футов (6 м)



Рис. 96. Распространение нефтяных месторождений в линейных трендах нижнемелового песчаника А, район Сальвадор, Бразилия [Baier E. J., 1967]

Стрелка показывает предполагаемое направление переноса песка

вий и мелкую гальку. Кроме того, встречаются в нем зерна черного кремня, полевого шпата, пластинки слюды и тяжелые минералы. Цементирующая среда песчаника состоит из глинистых минералов и углистой массы. Градация зерен, там где она прослеживается, изменяется от тонкой внизу до более грубой вверху, что характерно для разрастающихся песчаных баров. Песчаники, слагающие этот горизонт, обычно грубослоистые и массивные с прослоями глинистых и углистых разностей. К менее важным признакам относятся наличие в них слабо наклонной косою слоистости, структур оползания и размыва, образованных ими. Песчаные тела залегают на глинистых сланцах, содержащих пресноводные остракоды. Эти тела рассматриваются Е. Дж. Бауэром [Baier E. J., 1967] как бароподобные линзы песка, отложенного

течениями и сформированные волновой деятельностью. Он придерживается мнения, что эти песчаные линзы образовались на шельфах и отмелях в мелководье, но на некотором расстоянии от берега в озерной обстановке.

Продуктивные пласты, сложенные этими песчаниками, характеризуются высокими значениями пористости (порядка 12—20%) и проницаемости (обычно 200—1300 мД), достигающей иногда 4000 мД в некоторых среднезернистых и хорошо отсортированных песчаниках. Нефть, плотность которой 0,825 г/см³, аккумулировалась в структурно повышенных частях (усиленных уплотнением) песчаных тел, там где они покрывают взброшенные блоки пород фундамента. По мысли Е. Дж. Бауэра [Vaughan E. J., 1967], структура фундамента находит отражение в палеотопографии района, и песчаные бары развиты на более высоких участках. На основании этой интерпретации он считает, что поискам новых месторождений поможет понимание палеоструктурной и палеогеоморфологической обстановок в бассейне Реконкаво.

Нефтяное месторождение Белл-Крик, Монтана

Географическое и палеогеоморфологическое соотношение месторождений Белл-Крик и Риклус в бассейне Паудер-Ривер, штаты Монтана и Вайоминг, показано на рис. 97 в интерпретации Дж. М. Форготсона и П. Х. Старка [Forgotson J. M. and Stark P. H., 1972]. Эта интерпретация отличается от интерпретации Дж. Вонцика [Woncik J., 1972], который рассматривал продуктивный песчаник месторождения Риклус (см. рис. 44) как морские пески береговой линии, возможно, барьерно-островные. В обоих месторождениях продуктивен нижнемеловой песчаник Мадди. Интерпретация, основанная на их палеогеоморфологии, по Дж. М. Форготсону и П. Х. Старку, состоит в том, что нефтесодержащее песчаное тело в месторождении Белл-Крик (рис. 98) — это комплекс барьерного бара. Этот комплекс находится возле пересечения морских литоральных баров северовосточного простирания и дельтовой системы юго-восточного простирания. Песчаное тело в месторождении Риклус интерпретируется как часть песков, заполняющих распределительные рукава внутри дельтовой системы.

Песчаники Мадди на месторождении Белл-Крик — это сложный баровый комплекс, образованный сливающимися линейно вытянутыми песчаными линзами. Из разрезов видна линзовидность нефтесодержащих песчаных тел (см. рис. 98). Максимальная мощность песчаников Мадди 10 м, средняя мощность 6 м. В их разрезе выделены следующие четыре пачки: 1) верхняя, представленная тонкозернистым песчаником; 2) подстилающая его сложенная более грубозернистыми и отчетливо слоистыми песчаниками, которым присуща мелкомасштабная косая слоис-

тость; 3) залегающая ниже, выраженная очень тонкозернистыми неяснослойистыми песчаниками со слабой биотурбацией, и 4) маломощная базальная пачка переслаивания глинистых сланцев и алевролитов с широко распространенной биотурбацией.

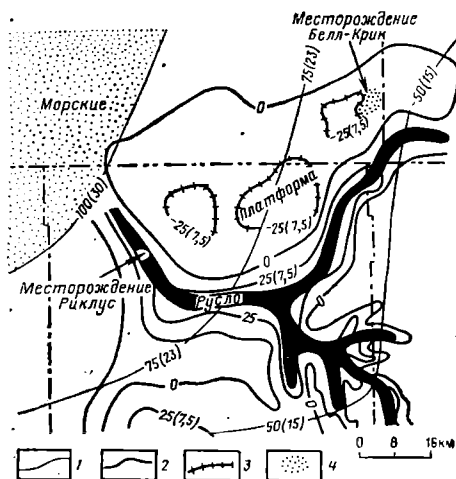


Рис. 97. Остаточные значения равных мощностей нижнемелового песчаника Мадди, бассейн Паудер-Ривер, Монтана и Вайоминг [Forgotton J. M. and Stark P. H., 1972]

1 — линии регионального изменения мощностей; 2 — линии остаточных (увеличенных) значений мощности; 3 — линии остаточных (уменьшенных) значений мощности; 4 — месторождение с залежами в отложениях Мадди
Сечение изолиний 25 футов (7,5 м)

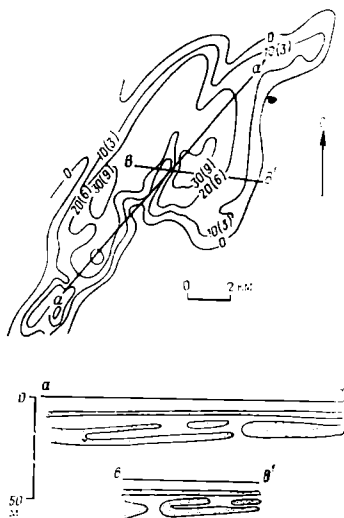


Рис. 98. Карта равных мощностей нижнемелового песчаника Мадди, месторождение Белл-Крик, Монтана

Положение профильных разрезов $a-a'$ и $b-b'$ приблизительно [McGregor A. A. and Biggs C. A., 1968; Berg R. R. and Davies D. K., 1968].

Сечение изопакит 10 футов (3 м)

Песчаники кварцевые (в среднем содержат 86% кварца), хорошо отсортированные, от тонкозернистых до очень тонкозернистых. Средний размер слагающих их зерен возрастает с увеличением содержания кварца. Значения пористости и проницаемости исключительно высокие, соответственно достигающие 30% и 3500 мД.

Д. К. Дэвис, Ф. Дж. Этридж и Р. Р. Берг [Davies D. K., Ethridge F. G. and Berg R. R., 1971] провели сравнение текстур и структур в ядрах (рис. 99), отобранных из песчаника Мадди на месторождении Белл-Крик и из типичного барьерного о-ва Галвестон в Техасе. Длина ядер из песчаников Мадди и отложений о-ва Галвестон составляла приблизительно 6 и 9 м соответственно. Изучение ядра из отложений о-ва Галвестон показало, что в самой верхней их части залегают горизонт, сложенный эоловыми песками, редко встречающимися корнями растений. Он перекрывает горизонт песков пляжевого типа с харак-

терной слабонаклонной косо́й слоистостью. Этот тип косо́й слоистости отражает изменение в седиментационных склонах пляжа. Косослоистая толща покрывает пески от однородных до тонкослоистых, отложенных при распространении межприливного пля-

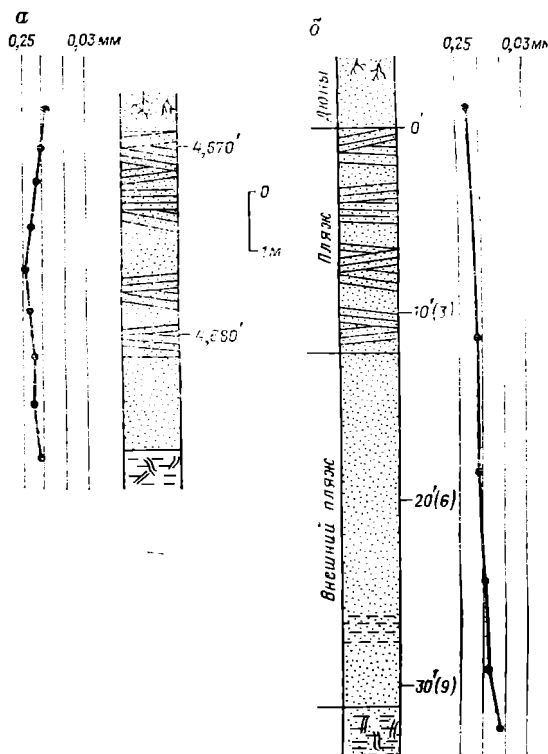


Рис. 99. Сопоставление разрезов песчаников Мадди месторождения Белл-Крик и о-ва Галвестон, Техас

а — керн из нефтепродуктивного нижнемелового песчаника Мадди в скв. 6-14, месторождение Белл-Крик, Монтана; б — керн из современных осадков о-ва Галвестон, Техас, типичного барьерного острова [Davies D. K., Ethridge F. G. and Berg R. R., 1971]

жа в сторону моря. Самый нижний горизонт этой серии представлен широко подверженным биотурбации глинистым алевритом, переслаивающимся с очень тонкозернистыми песчаными отложениями. Наблюдается изменение по разрезу размера частиц материала, слагающего породу, от тонкозернистого песка в самых верхах до очень тонкозернистого песка в самых низах горизонта. Эта градиация типична для отложений для барьерного острова и других дельтообразно наслоенных песчаных накоплений береговой линии. Анализ керна месторождения Белл-Крик указывает на ту же последовательность в изменении литологии с незначительными отклонениями. Самый верхний горизонт представлен очень тонкозернистым однородным песчаником, содержащим текстуры следов корней растений. В межприливо-пляжевом горизонте имеются следы сверления некоторых организмов; горизонт, соответствующий внешней поверхности пляжа, содержит округлые включения аргиллита, вероятно, сформированные

из обломков высушеного и растрескавшегося ила, принесенных в море с суши. Самый нижний горизонт состоит из тонких прослоев аргиллитов и алевролитов, характеризующихся значительной биотурбацией и присутствием местами очень тонкой косой слоистости. Размер зерен тонкозернистого песчаника — 0,12—0,25 мм, за исключением самого нижнего горизонта, который сложен алевролитом с размерами частиц 0,03—0,06 мм.

Месторождение Белл-Крик было открыто в 1967 г. В его недрах имеется четыре самостоятельные залежи в стратиграфических ловушках. Отдельные скопления нефти имеют разные водонефтяные контакты. Нефть, добыча которой осуществляется на месторождении с глубины около 1400 м, бессернистая. Ее плотность 0,855 г/см³. В течение периода максимального отбора продукции добыча на месторождении составляла 8775 т/сут.

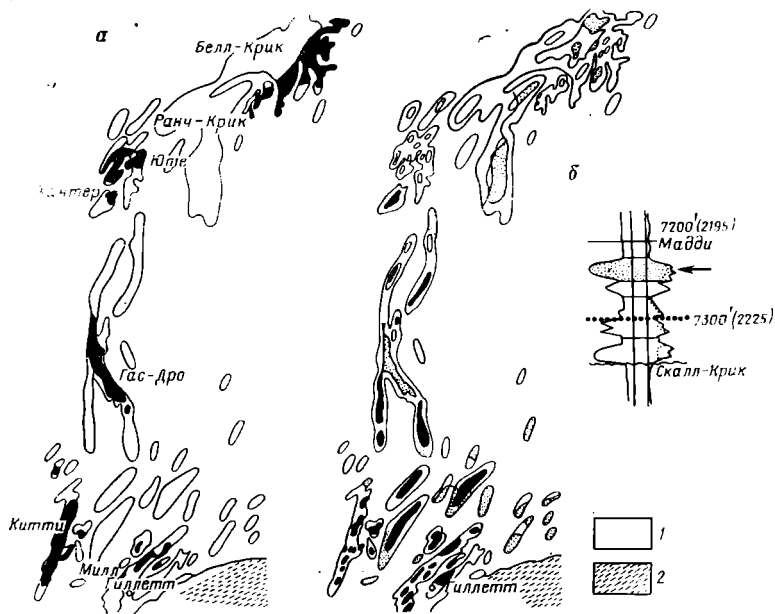


Рис. 100. Карта изолит нижнемелового песчаника Гас-Дро (а), показывающая распределение мощностей, превышающих 30 футов (9 м), и типичная каротажная кривая (б) [Stone W. D., 1972]:

1 — мощность песчаников Мадди < 18 м; 2 — верхняя часть песчаников Мадди (нерасчлененные).

Сечение изолитий 10 футов (3 м)

Среднесуточная добыча на скважину составляла тогда 68 т. Накопленная добыча к 1973 г. достигала 6,1 млн. т. А. А. Мак-Грегором и К. А. Биггсом [McGregor A. A. and Biggs C. A., 1968] было подсчитано, что извлекаемые запасы нефти месторождения достигают 27 млн. т.

Нефтяное месторождение Гас-Дро, Вайоминг

На месторождении Гас-Дро (рис. 100), расположенном в бассейне Паудер-Ривер, получают нефть из песчаника Гас-Дро в разрезе нижнемеловой свиты Мадди. Песчаник Гас-Дро залегает на нефтеносном песчанике на месторождении Белл-Крик (50 км северо-восточнее) и образует сложно построенное линейно вытянутое песчаное тело длиной более чем 40 км, шириной 2—3 км и мощностью до 10 м. Главное нефтяное скопление месторождения протягивается вдоль центральной части этого тренда на расстояние 20 км. Песчаник Гас-Дро состоит из очень тонкозернистых и тонкозернистых разностей. По мнению В. Д. Стоуна [Stone W. D., 1972], это образования прибрежных баров и пляжей, которые развивались вдоль того же самого берегового тренда, где были отложены и песчаники Белл-Крик, залегающие в верхней части свиты Мадди. В этой связи интересно отметить воронкообразный характер кривой электрокаротажа продуктивных песчаников обоих месторождений: Гас-Дро и Белл-Крик (рис. 101). Как и на месторождении Белл-Крик, продуктивный

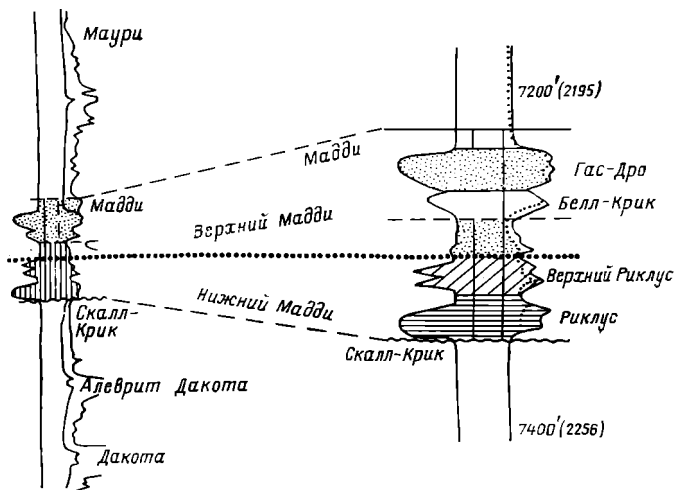


Рис. 101. Типичные электрокаротажные кривые нефтяного месторождения Гас-Дро, бассейн Паудер-Ривер, Вайоминг [Stone W. D., 1972]

песчаник месторождения Гас-Дро характеризуется высокими значениями пористости. На месторождениях Белл-Крик, Юте и Китти также часть нефти добывают из песчаника Гас-Дро.

Нефтяные месторождения Гаррингтон и Кроссфилд, Альберта

На месторождениях Гаррингтон и Кроссфилд в Альберте (рис. 102) нефть получают из верхнемелового песчаника Кардайум. В этом районе Кардайум подразделяется на два парал-

лельных, лентовидных песчаных тренда, расстояние между которыми составляет около 15 км. Песчаники, слагающие более молодой тренд, лежащий дальше к северо-востоку, продуктивны на месторождении Гаррингтон. Этот тренд прорезан в северо-западном направлении на расстояние более чем 100 км. Тренд Кроссфилд протягивается более чем на 115 км. Обе эти зоны песчаников имеют ширину 2—5 км и мощность порядка 6 м. Они были сформированы как прибрежные бары, возможно, как барьерные бары в период морской регрессии в начале позднемелового времени. Позже они были захоронены под темными алевролитами и глинистыми сланцами серии Колорадо, когда море вновь трансгрессировало в западном направлении.

Песчаник Кардайум крепкий, состоит из зерен кремня, кварцита, кремнистого аргиллита и других обломков. В основном песчаник тонкозернистый, зерна угловатые до полуокатанных. В верхней части разреза песчаник местами гравийный до галечника. Более крупные зерна и галька хорошо окатаны и состоят из светло-серых и черных кремнистых пород. Цемент в основной массе представлен главным образом сидеритом, иллитом и хлоритом. Эпигенетические процессы и

уплотнение привели к снижению пористости и проницаемости, значения которых приблизительно оцениваются в 10% и 35 мД соответственно. Скопления нефти находятся в чисто стратиграфических ловушках, контролируемых зонами выклинивания песчаных тел вверх по их восстанию, и зонами изменения пористости и проницаемости вдоль этих песчаных трендов. Региональное падение слоев составляет около 10 м/км в западном — юго-западном направлении. Эффективная мощность продуктивного песчаника в обоих месторождениях составляет всего 1—2 м. При его эксплуатации необходимо создание трещиноватости в зоне отбора нефти. В начальный период разработки залежь характе-

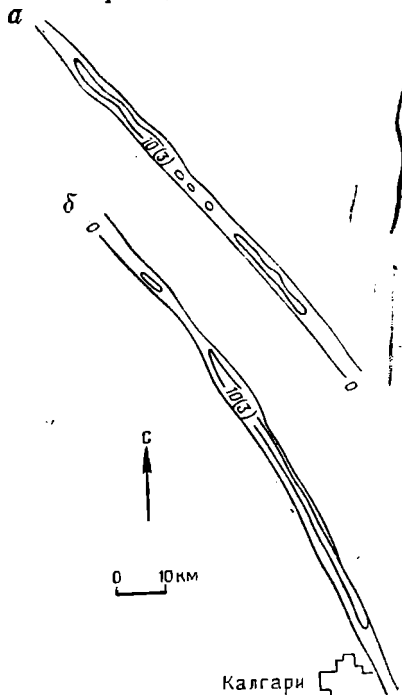


Рис. 102. Карта равных мощностей барьерного бара верхнемеловой свиты Кардайум, месторождения Гаррингтон (а) и Кроссфилд (б), Альберта [Vergeen R. J., 1966]

Сечение изоплахит 10 футов (3 м)

ризовалась режимом растворенного газа. Затем стали применять вторичные методы и использовать заводнение.

На месторождении Гаррингтон имеется два продуктивных песчаных пласта, каждый из которых мощностью около 3 м. Верхнее песчаное тело лентообразно и имеет такие же размеры как и песчаное тело месторождения Кроссфилд. Нижнее тело простирается в том же направлении, но форма его более изометрична, а ширина местами достигает 10 км. В большинстве скважин, как правило, добыча нефти осуществляется из песчаников, слагающих верхнее либо нижнее песчаное тело. Однако в некоторых скважинах продуктивны песчаники обоих песчаных тел там, где они перекрывают друг друга. Нефть в основном парафинистая, бессернистая, плотность ее 0,840 г/см³. Геологические запасы нефти в обоих песчаных телах составляют 26 млн. т, из которых, как подсчитано Г. Б. Тирреллом [Tyrgrell G. B., 1966], извлекаемые составляют только 5,4 млн. т. И. А. Явери [Javeri Y. A., 1966] подсчитал, что геологические запасы нефти месторождения Кроссфилд составляют 22 млн. т, из которых 2,1 млн. т извлекаемые. Суточная добыча на скважину составляет здесь 3—4 т нефти.

Нефтяное месторождение Бисти, Нью-Мексико

Нефтяное месторождение Бисти в Нью-Мексико (рис. 103 и 104) было описано Ф. Ф. Себинсом [Sabins F. F. 1963], который установил, что продуктивны здесь три перекрывающих друг друга песчаных тела, выделяемых под названием пачек Мэри, Карсон и Гуэрфано в разрезе верхнемеловой свиты Галлуп. Эти линейно вытянутые песчаные тела интерпретированы Ф. Ф. Себинсом как песчаные бары, которые образуют барьерно-баровый комплекс. Он выяснил, что линейность этих песчаных тел соответствует топографии кровли подстилающего их песчаника Галлуп, но что эти тела не всегда лучше всего развиты в топографических впадинах. Некоторые наиболее мощные их части покрывают уступы. На стр. 224 Ф. Ф. Себинс пишет: «В целом аккумулятивный рельеф кровли песка Мейн-Галлуп напоминает вдольбереговой бар, прорезанный впадиной с обращенными к морю аккумулятивными уступами. Этот рельеф был сформирован во время заключительного накопления песка Мейн-Галлуп и являлся поверхностью, на которой был отложен баровый комплекс Бисти». Ф. Ф. Себинс интерпретирует песчаник Мейн-Галлуп, подстилающий песчаные тела Мэри, Карсон и Гуэрфано, как регрессивный морской покровный песчаник, на поверхности которого были образованы песчаные бары и сопутствующие им фации. Д. Г. Мак-Кеббин [McCubbin D. G., 1969], однако, ин-

терпретирует верхнюю поверхность песчаника Мейн-Галлуп как эрозионную, на которой были отложены линейно вытянутые песчаные тела в морских долинах, обрамляющих куэсты, во время трансгрессии моря времени Найобрара. Исследование Д. Г. Мак-Кеббина не касалось специально месторождения Бисти, но

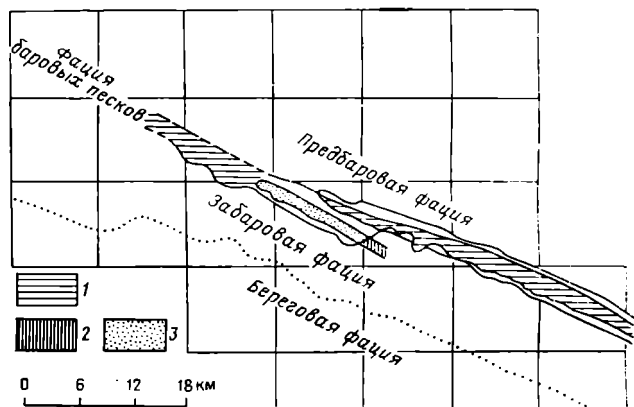


Рис. 103. Карта фаций нефтяного месторождения Бисти, бассейн Сан-Хуан, Нью-Мексико, показывающая комплекс барьерного бара, включающий нефтеносные песчаные бары Мэри (1), Карсон (2) и Гуэрфано (3) верхнемеловой свиты Галлуп [Sabins F. F., 1963]

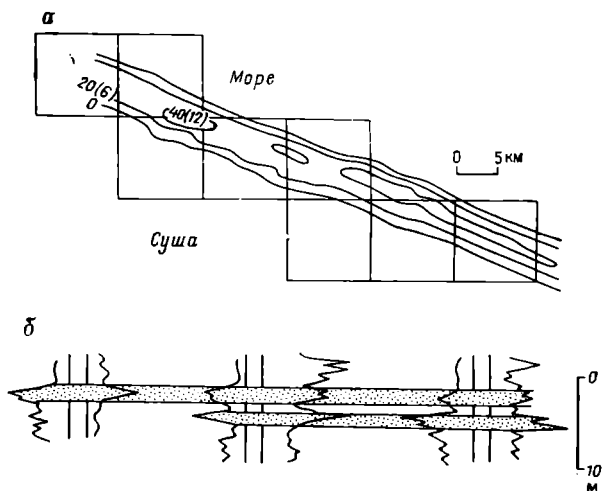


Рис. 104. Карта равных мощностей (а) продуктивного барьерного бара месторождения Бисти, бассейн Сан-Хуан, Нью-Мексико и кривые спонтанного потенциала (б) [Sabins F. F., 1963]
Сечение изопакит 20 футов (6 м)

затрагивало соседние месторождения Хорсшу, Мани-Рокс, Меса, Саут-Уотерфлоу, Ча-Ча и Тотак, в которых продуктивны те же стратиграфические горизонты. Д. Г. Мак-Кеббин пишет (стр. 2116): «Большинство предшествующих исследователей этих нефтяных месторождений придерживались интерпретации, что песчаные коллекторы были отложены как «прибрежные» или «морские» бары одновременно с пляжевыми или прибрежно-морскими песчаниками Галлуп и что их местоположение и простираение связаны с максимумом регрессии моря в период отложения песчаников Галлуп [Knight W. V. and Budd H., 1959; Sabin F. F., 1963; Tomkins J. Q., 1957]. В. К. Пентила [Penttila W. C., 1964] установил, что эти слои песчаников в северо-западной части бассейна перекрывают несогласие, которое отделяет их от более древних песчаников Галлуп, и что распространение этих песчаных тел связано с эрозионными понижениями поверхности несогласия». Если интерпретацию Д. Г. Мак-Кеббина применить к месторождению Бисти, тогда песчаные тела Мэри, Карсон и Гуэрфано являются базальными пачками верхнемеловой свиты Найобрара, и как долинные пески, обрамляющие куэсты, они должны быть описаны в пятой главе, посвященной трансрессивным морским прибрежным песчаным телам. Они помещены в этой части, поскольку: 1) вопрос об их происхождении не кажется пока удовлетворительно решенным, 2) они, по-видимому, формировались в прибрежной морской обстановке и 3) их воронкообразная электрокаротажная характеристика (см. рис. 104) подтверждает, что они представляют собой образования песчаных баров.

Продуктивные песчаники на месторождении Бисти образуют линейный тренд длиной более чем в 55 км, шириной 3—5 км и мощностью до 20 м. Песчаники кварцевые, глауконитовые, содержат полуокатанные зерна от тонких до средних. Градация зерен от тонких внизу до крупных вверх — это особенность, характерная для барьерных баров. Воронкообразная форма кривой спонтанной поляризации электрокаротажа (см. рис. 104) отражает эту градацию. Пористость песчаников колеблется в пределах 10—20%, но обычно составляет 12—15%. Проницаемость более грубых их разновидностей достигает 400 мД, но в среднем проницаемость песчаников колеблется в интервале 50—175 мД.

На месторождении Бисти залежь контролируется стратиграфической ловушкой, которая не осложняется влиянием структурных носов или складок, расположенных выше или ниже продуктивных песчаных горизонтов в пределах месторождения. Для того чтобы обеспечить среднюю добычу более чем 122 т в месяц на скважину, необходимо применять гидроразрыв продуктивного пласта. В начальный период разработки залежь характеризовалась режимом растворенного газа. Подсчитано, что начальные извлекаемые запасы месторождения достигают 7 млн. т.

Солт-Крик (рис. 105) и соседнее Типот-Дом к югу то него являются высокопродуктивными нефтяными месторождениями, в которых разрабатывается главным образом Второй песчаный горизонт верхнемеловой свиты Фронтир. Месторождение Солт-Крик приурочено к структурному носу, прослеживаемому вдоль тренда Второго песчаного горизонта. Второй песчаный горизонт залегает примерно на 60 м ниже первого на глубине 400—900 м.

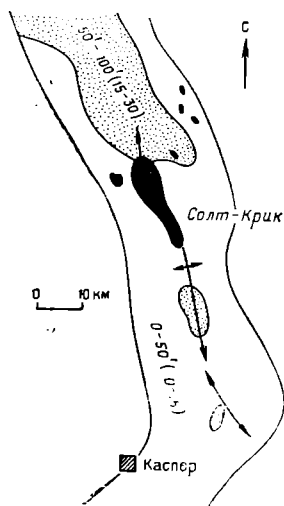


Рис. 105. Распределение нефтяных месторождений, связанных с прибрежным баром верхнемеловой свиты Фронтир, Вайоминг [Barlow J. A. and Haun J. D., 1966]

Второй песчаный горизонт интерпретировался Дж. А. Барлоу и Дж. Д. Хоном [Barlow J. A. and Haun J. D., 1966] как образование морского прибрежного бара, окаймлявшего дельтовую лопасть, разраставшуюся в восточном направлении. Песчаное тело протягивается в северо-северо-западном направлении более чем на 100 км, при ширине в среднем около 15 км и мощности до 30 м. Тренд совпадает с осью ундулирующей крупной антиклинали, вдоль которой развиты локальные складки, такие как Типот-Дом. Песчаник кварцевый, хорошо отсортированный, от очень тонко- до среднезернистого, местами косослойный, средняя пористость 20%. В его составе глауконит является обычным компонентом. Местами пес-

чаник содержит углистые фрагменты. Зерна, которые являются полуокатанными и почти угловатыми, указывают на переход в их размере от тонких внизу до более грубых вверху. Этот переход отражается в воронкообразном характере кривых электрокаротажа для Второго песчаного горизонта. Местами песчаное тело содержит линзы галек, а в самой верхней его части слой гальки широко распространен. Похожий слой гальки, который представляет период размыва прибрежных баров, находится у кровли нефтеносного песчаника Кардайум (см. рис. 102) в Альберте.

Е. Бек [Beck E., 1929] показал разные водонефтяные контакты в пределах структур Солт-Крик — Типот-Дом. Это, видимо, является результатом образования сбросов, а не следствием наклона водонефтяного раздела. Минерализация воды во Втором песчаном горизонте — 8—15 г/л, т. е. значительно ниже, чем средняя минерализация морской воды, составляющая 30 г/л.

Это указывает на разбавление подземных вод атмосферными водами и на движение вод внутри песчаного тела. Отсутствие данных о первоначальных давлениях препятствует возможности проведения удовлетворительного гидродинамического анализа.

Дж. А. Барлоу и Дж. Д. Хон [Barlow J. A. and Haun J. D., 1966, p. 2195] следующим образом обобщают данные об этом месторождении: «Месторождение Солт-Крик обычно приводят в качестве характерного примера залежи, связанной с антиклинальной складкой. У. К. Гассоу [Gussow W. C., 1954] приводит его как пример раздельного улавливания углеводородов, а А. И. Леворсен [Levorsen A. I., 1954] как месторождение с наклонным водонефтяным контактом. Авторы пытались показать, что основная аккумуляция во Втором песчаном горизонте Фронтир происходила внутри песчаного бара, который был отложен у морского побережья в результате накопления грубого терригенного материала (дельты?), принесенного с северо-запада и запада со стороны суши. Этот бар был подвержен сильному действию волн и течений, что привело к образованию сравнительно высокой пористости у песчаных отложений. Бар стал стратиграфической ловушкой во время ранних стадий уплотнения осадков, и в него попала нефть, образовавшаяся из окружающих его материнских слоев в разрезе свиты Фронтир. В течение ларамийской складчатости нефть мигрировала в благоприятные в структурном отношении ловушки, положение которых близко к современному. Структурное положение скоплений нефти могло быть слабо изменено последующими гидродинамическими градиентами».

На месторождениях Солт-Крик и Типот-Дом добыто к 1966 г. 57 млн. т нефти, плотность которой 0,860—0,835 г/см³. Вначале добыча осуществлялась на режиме растворенного газа, и средняя суточная добыча для отдельных скважин, пробуренных в течение 1917—1921 гг., была 88 т на скважину.

Газовое месторождение Биг-Пайни, Вайоминг

На месторождении Биг-Пайни в бассейне Грин-Ривер в Вайоминге добыча газа осуществляется из лентовидных песчаных горизонтов в разрезе палеоценовой свиты Алми. Наиболее продуктивен песчаный горизонт *La* (рис. 106). Он состоит из двух отдельных песчаных тел, слегка эшелонированных в плане. Оба протягивающихся в северном направлении песчаных тела являются линейно вытянутыми, линзовидными и достигают мощности 40 м. Они резко выклиниваются на запад и становятся глинистыми на востоке. Эти песчаные тела интерпретируются как прибрежные бары. Происхождение других связанных с ними песчаных тел интерпретируется как дельтовое или эстуарное.

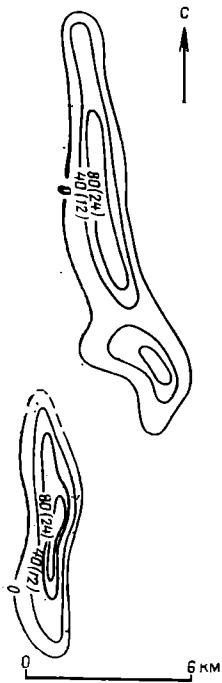


Рис. 106. Карта равных мощностей песчанника *La* в палеоценовой свите Алми, газовое месторождение Биг-Пайни, бассейн Грин-Ривер, Вайоминг [Kueger W. C., 1968]
Сечение изопакит 40 футов (12 м)

Месторождение Биг-Пайни было открыто в 1938 г. Одна из ранних скважин во время отбора керна на глубине около 300 м дала выброс газа дебитом порядка 1,9 млн. м³/сут. Выброс газа продолжался в течение 10 сут, прежде чем скважину удалось взять под контроль. Продуктивный песчанник в этом месте имеет мощность приблизительно 30 м. В пределах этого месторождения в разрезе свиты Алми имеется 20 отдельных и линзовидных песчаных тел, из которых горизонт *La* является одним из газоносных и содержит незначительное количество нефти. Эти скопления углеводородов в существенной мере являются неструктурными, поскольку газ и нефть ограничены барьерами пористости и проницаемости по краям песчаных тел. Внутри продуктивных зон пористость обычно 26—28% и проницаемость 50—200 мД.

Газ, который свободен от серы, содержит (в %) метана — 89—99, этана — до 6 и пропана — 3. Кумулятивная добыча в 1966 г. составила из песчаных тел свиты Алми на месторождении Биг-Пайни и соседнем месторождении Ла-Бардж 18 млрд. м³.

Нефтяное месторождение Хардин, Техас

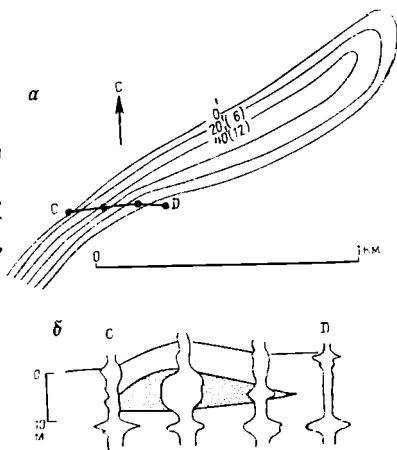
Нефтяное месторождение Хардин в Техасе включает девять продуктивных песчаных горизонтов в разрезе верхнеэоценовой свиты Йегуа. Одним из них является песчанник Дэвис зоны свиты Йегуа, из которого добывают газ, конденсат и нефть (рис. 107). Песчанники Дэвис слагают линейно вытянутые линзовидные тела, имеющие длину 3,3 км, ширину порядка 150—350 м и мощность 15 м. В целом он образует массивное песчаное тело, не обнаруживающее стратификации, за исключением глинистых зон вдоль краев тела, где отмечается косая слоистость. Песчанник среднерзностный содержит приблизительно 98% кварца. Зерна полукатанноты и угловатые. В нем обычны обугленные растительные остатки. Песчаное тело интерпретируется как прибрежный бар, отложенный в регрессию моря. Электрокаротажная характеристика песчаного тела Йегуа выражена четкой кривой воронкообразной формы, что указывает на его баровое происхождение. Электрокаротажная кривая песчанника Дэвис

менее отчетлива по своей форме, вероятно, из-за малого различия размеров слагающих его зерен.

Песчаник характеризуется высокими коллекторскими свойствами. Средняя пористость и проницаемость его соответственно

Рис. 107. Карта равных мощностей (а) и разрез *CD* (б) верхнеэоценового песчаника Дэвис свиты Пегуа, месторождение Хардин, Техас [Casey S. R. and Cantrell R. B., 1941]

Сечение изопакит 20 футов (6 м)



составляют 27% и 2200 мД. Присутствие воды минерализацией 12 г/л свидетельствует о разбавлении пластовой воды метеорными водами. По-видимому, на этом месторождении существуют благоприятные условия для движения пластовых вод. Песчаник Дэвис залегает на месторождении на глубине около 2285 м. Из него добывают газ, конденсат и нефть. Плотность конденсата 0,76 г/см³, а нефти 0,84 г/см³.

РЕГРЕССИВНЫЕ ПЕСКИ МОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Регрессивные песчаные тела морского побережья представлены пластообразными и линзовидными формами, отложенными во время регрессии моря как пляжевые или прибрежные пески. Эти песчаные тела линейно вытянуты вдоль берега. Они обычно параллельны в плане и эшелонированы в разрезе. Последнее не всегда заметно без увеличения вертикального масштаба разреза, особенно там, где отсутствуют хорошие маркирующие горизонты. Песчаная пачка, залегающая плащеобразно, может фактически включать в себя серию диахронных черепицеобразно прилегающих друг к другу (*off-lapping*) песчаных тел. Другие песчаные тела, такие, например, как пляжевые валы, могут резко отделяться друг от друга глинистыми сланцами или алевритами. Относясь к категории прибрежных, песчаные тела, отложенные регрессирующим морем, являются частично песчаными телами фронта дельты, такими как пески баровых пальцев, а также междельтовыми песчаными телами, такими как барьерные острова и другие прибрежные бары. Песчаные тела фронта дельты в этой главе не рассматриваются, поскольку они являются главным образом песчаными образованиями распределительных рукавов, продвигающихся в сторону моря, которые ориентированы поперек береговой линии. Они были рассмотрены ранее (см. рис. 55 и 57). Некоторые береговые и другие прибрежные бары можно было бы включить в эту главу, но поскольку они могут также формироваться в обстановке морской трансгрессии (см. рис. 89), то о них речь идет в отдельной главе.

Регрессивная и трансгрессивная ситуации могут возникать там, где прилегающая к морю суша оказывается плоской и низкой.

В зависимости от особенностей геологического строения суши слабо расчлененный рельеф может развиваться на большом протяжении под влиянием эрозионных процессов. Очень плоское побережье, прилегающее к области такого рельефа, образуется главным образом путем накопления осадков.

Широкое пространство плоского побережья может быть образовано в результате формирования осадков путем наращивания ими берега в течение периода морской регрессии и последующего

сглаживания и частичной переработки в период морской трансгрессии.

Распространение плоских береговых равнин в сторону моря может происходить быстро в обстановке разрастания дельт крупных речных систем на мелководном континентальном шельфе. В такой ситуации береговые валы, барьерные бары и другие прибрежные песчаные тела могут проследиваться в рельефе суши. Они обычно бывают выражены в виде низких песчаных валов, покрытых растительностью, которые протягиваются на много километров в сторону суши. Последующее затопление прибрежного рельефа во время периодов морской трансгрессии может привести к захоронению этих форм рельефа под толщей ила, что сохранит их в геологическом разрезе. Известно, что планетарные повышения уровня океана соответствуют периодам таяния ледников и могут также отражать главные фазы тектонических движений, но трансгрессии не всегда связаны с абсолютным повышением уровня океана. Местные морские трансгрессии обычно происходят в районах крупных дельт там, где продвижение последних в сторону моря прекращается вследствие изменения направления речных систем и прекращения поступления осадков в этой части берега. В такой ситуации береговая линия перестает продвигаться в сторону моря в результате наращивания суши осадками. Однако уплотнение дельтовых отложений продолжается. Как только превышение заболоченной поверхности площади дельты окажется меньше 1 м над уровнем моря, эта поверхность погружается ниже уровня моря. Затопление этих плоских береговых равнин может произойти в течение нескольких лет, хотя наступания моря с постоянной скоростью может и не быть. В периоды медленного наступания моря некоторое время могут существовать такие условия, при которых береговая линия будет почти стабильной. В этих случаях возможно образование прибрежных песчаных тел, сложенных илистым песком, в результате вымывающего действия волн и течений.

Непрерывное продвижение фронта дельты, уплотнение осадочных слоев, местная переработка поверхностных осадков и широкое распространение ила в течение переходных периодов морской трансгрессии являются процессами, определяющими стратиграфическую природу и внешнюю форму песчаных тел. Эти тела и вмещающие их слои образуют погружающиеся линзы осадков, которые в дальнейшем будут являться частью осадочного выполнения бассейна. Формы накопления осадков, наблюдаемые при образовании современных отложений, обусловлены процессами осадконакопления, которые действовали и в прошлом. Хотя форма дельтовых комплексов, рассматриваемая в трех измерениях, непрерывно изменяется, закономерности в распределении фаций осадконакопления и геоморфологические особенности, наблюдаемые у современных дельт, могут явиться

важными диагностическими признаками при выявлении особенностей распределения литофаций и песчаных тел в отдельных стратиграфических интервалах, залегающих на глубине ниже образований дельты. Современная история осадконакопления рассматривается, таким образом, как повторение прошлого.

Географическое распространение современных дельт контролируется или определяется многими факторами, включая природу и массу приносимых осадков, характер их распределения ру-



Рис. 108. Размещение главных распределительных рукавов, приливных каналов и нарастающих песчаных баров в южной части голоценовой дельты р. Иравати, Бирма [Fisher W. L. et al., 1969]

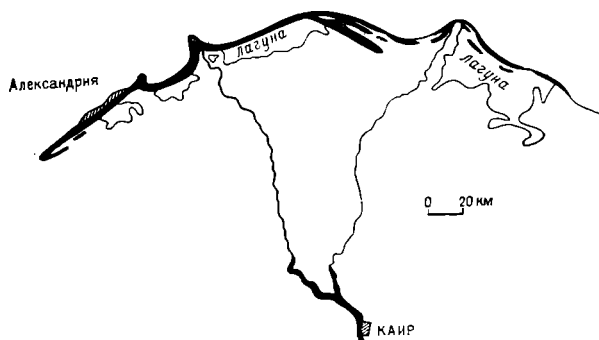


Рис. 109. Размещение главных распределительных рукавов и береговых песков, которые формируют барьерно-стендовые равнины в голоценовой дельте Нила [Fisher W. L. et al., 1969]

кавами дельт, батиметрию континентального шельфа, на котором строится дельта, а также силу волн и течений. Три примера дельт иллюстрируются рис. 108, 109 и 110.

Р. Иравати в Бирме (рис. 108) быстро продвигается в область широкого, мелководного континентального шельфа, под-

стилающего Андаманское море. В целом дельта покрывает площадь приблизительно 50 000 км². В южной ее части ежегодное количество отложенных осадков составляет, по В. Л. Фишеру и другим [Fisher W. L. et al., 1969], около 300 млн. т. Они представлены илом, алевролитами и тонкозернистым песком. Вдоль берега из илистых песков в результате вымывающего воздействия волн и течений образуются прирастающие песчаные бары. Размеры их непрерывно увеличиваются со скоростью, изменяющейся от одного места к другому, что зависит от смены направления отдельных распределительных каналов дельты и объема сгружаемого материала. В конечном итоге это приводит к прекращению роста более древних прирастающих баров. Эти последние отступают все дальше внутрь континента, где они образуют линейные тренды, очерчивающие предшествующие береговые линии. Более поздние периоды региональных или локальных морских трансгрессий могут захоронять в илу эти песчаные тела, сохраняя их в геологическом разрезе. Дальнейшее накопление перекрывающей их толщи осадочных пород приводит к захоронению песчаных тел и погружению их на глубины в сотни и тысячи метров. Там происходит образование углеводородов, движение флюидов и оседиментационные деформации в результате уплотнения осадков, оползания отдельных блоков пород и роста структур. Все это приводит к образованию нефти и газа и формированию скоплений углеводородов в некоторых из этих пачек, представленных песками или песчаниками.



Рис. 110. Размещение распределительных рукавов и барьерных баров голоценовой дельты р. По, Венецианский залив. Италия [Fisher W. L. et al., 1969]

Регионы, где условия осадконакопления имеют такую природу и где они были сходны в геологическом прошлом, особенно привлекательны для проведения поисково-разведочных работ на нефть и газ. Такие районы, как правило, имеют сравнительно высокое содержание органического вещества не только в современных илах, но и в захороненных аргиллитах или глинистых сланцах. В тех районах, где в период осадконакопления не проявлялись активно процессы тектогенеза или отсутствовали длительные периоды эрозионной деятельности, приводящие к размыву слагающих его осадочных пород, несомненно имеется меньшая вероятность разрушения значительных объемов скоплений углеводородов в его осадочном разрезе. В этом отношении широкие и мелководные континентальные шельфы, на которых происходит рост таких дельтовых систем, являются наиболее благоприятными объектами для постановки поискового бурения.

В отличие от дельты р. Иравади, дельта Нила (см. рис. 109), расположенная в АРЕ, резко отличается по своей форме и, вероятно, также и по внутренней структуре. Эта разница является следствием нескольких факторов, связанных со скоростью осадконакопления, климатом и батиметрией восточной части Средиземного моря у Александрии. Дельта Нила имеет два главных распределительных рукава, показанных на рис. 109, западный рукав — Розетта и восточный рукав — Даниэтта. Общий годовой объем осадков, поступающих из этих рукавов, оценивается В. Л. Фишером [Fisher W. L. et al., 1969] приблизительно в 60 млн. т, что составляет $\frac{1}{5}$ того объема, который выносится р. Иравади. Однако большая часть тонкозернистых осадков, приносимых р. Нил во время паводков, никогда не достигает моря. Они отлагаются на затопленной равнине (в пойме), когда уровень реки понижается. Более низкая скорость разгрузки в море приносимого рекой материала по сравнению с р. Иравади отражена не только в размерах дельты Нила, покрывающей 15 000 км², которая занимает площадь в три раза меньшую, чем дельта Иравади, но и в большем развитии прибрежных баров. В частности, барьерные береговые бары протягиваются здесь поперек крупных лагун и почти полностью изолируют их от остальной части бассейна. В результате этого в лагунах повышается соленость воды, и они оказываются окруженными прибрежными соляными болотами (маршами) и засоленными иловыми равнинами. Далее в сторону суши дельта образует протяженную пойму.

По внешнему виду дельта Нила резко отличается не только от дельты Иравади, но и от классической дельты Миссисипи. В дельте Миссисипи преобладают песчаные тела, являющиеся образованиями распределительных рукавов и баровых пальцев, барьерные бары развиты только в стороне от фронта дельты, там, где пески транспортируются вдольбереговыми течениями. В дельте Иравади большая скорость разгрузки от взвеси осадков в существенной мере препятствует развитию барьерных баров, тогда как в дельте Нила они представляют основную ее характерную особенность. Внутреннее строение дельты Миссисипи характеризуется теми же осадочными фациями и геоморфологическими чертами, которые наблюдаются в настоящее время на поверхности. Аналогичные соотношения, вероятно, имеют и в дельте Иравади и, возможно, также и в дельте Нила. Если такие соотношения действительно характерны для дельт, то погребенные барьерные бары и другие внебереговые песчаные тела можно рассматривать в качестве перспективных объектов при поисках нефти и газа.

Р. По (см. рис. 110) в северной Италии быстро перемещает свою дельту в сторону Адриатического моря. Площадь этой дельты приблизительно составляет 500 км². Хотя она намного меньше, чем дельта Нила, однако объем выносимых ею в море

осадков примерно такой же. В. Л. Фишером и другими [Fisher W. L. et al., 1969] он оценивается в 70 млн. т в год. Большая часть этой осадочной взвеси переносится двумя основными распределительными рукавами По — Горо, текущим на юг, и Толле — на север. Местами эта взвесь осадков способна нарастить береговую линию в сторону моря со скоростью до 60 м/год. Такая быстрая скорость нарастания наблюдалась в течение плейстоцена. Песчаные тела, сформировавшиеся как регрессивные береговые пески, в настоящее время погребены на глубину, достигающую 450 м. Эти тела образуют линзы. Некоторые из них содержат стратиграфические ловушки, из которых получают природный газ, характеризующийся пониженным пластовым давлением. Между главными и второстепенными распределительными рукавами находятся заливы и соляные болота береговых равнин. Береговые и внебереговые пески, а также барьерные бары формировались вдоль берега. Там, где дельта мигрирует в сторону моря, береговая линия перемещается очень быстро, и осадки представлены обычно илами и алевритами с небольшим количеством тонкозернистого песка. Скорость седиментации зависит от близости береговой линии к устью распределительного рукава реки, разгружающего осадки в море, а также от массы разгружаемых осадков. Последнее определяется объемом взнесенных осадков, приносимых распределительным рукавом реки к его устью, и, очевидно, зависит от сезонных изменений, контролирующих периоды паводков и низкой воды. Первый фактор зависит от изменения направления самого распределительного канала. Во время паводка распределительный поток может прорываться через свой береговой (намывной) вал и покидать свое старое русло. Такое изменение направления потока может привести к изоляции источника размыва и прекращению поступления осадочного материала к определенному участку берега. Позднее распределительный рукав может опять изменить свое направление и доставлять свой груз к устью старого покинутого им рукава. Эти циклические, хотя и обычно неравномерные изменения в скорости осадконакопления вдоль береговой линии могли приводить к чередующемуся развитию иловых равнин и береговых валов песка, образующих нарастающую последовательность, так называемых чениеров (береговых валов пляжа).

В периоды седиментации, когда скорость осадконакопления довольно высока, у берега накапливается преимущественно тонкозернистый материал. Это проявляется в быстром росте в сторону моря береговых иловых равнин. Период, когда скорость осадконакопления намного ниже, отлагающийся материал вдоль береговой линии перебивается под действием течений и волновой деятельности. Ил выносится, а из оставшегося песка образуется пляж. Со временем ветер может перенести часть песка, образующего пляж, в сторону суши, создавая дюны, которые образу-

ют барьер между морем и находящимися в настоящее время в пределах прибрежной суши иловыми равнинами и чениерами. Развитие береговых валов определяется периодичностью накопления осадков у берега. Рано или поздно наступает период, когда скорость седиментации увеличивается настолько, что она подавляет действия процессов вымывания, приводящих к сортировке песка и его накоплению. Это приводит к накоплению ила на окраине песчаного пляжа, обращенной к морю. Сам пляж оказывается окруженным со всех сторон сушей и представляет собой песчаный вал, заключенный между иловыми равнинами. Эти валы обычно называют чениерами (рис. 111) от француз-

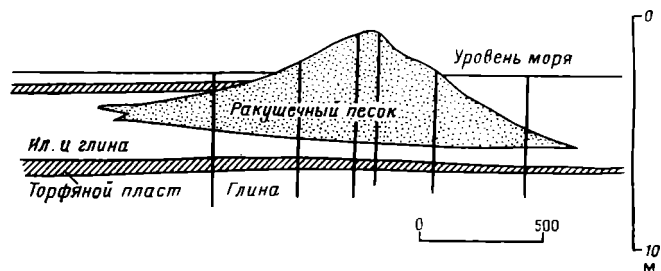


Рис. 111. Поперечный разрез чениера на о-ве Пекан, Мексиканский залив, Луизиана, показывающий размещение буровых скважин [Gould H. R. and Morgan J. P., 1962]

ского слова *chêne*, означающего «дуб», поскольку низкорослые дубы обычно растут на таких валах в Луизиане. Чениеры располагаются параллельно, слегка дугообразно, что является отражением истории перемещения береговой линии. Каждый из них в отдельности может быть прослежен на несколько километров. Ширина поверхностной части отдельного чениера может быть меньше 300 м, однако ширина его подземной части может превышать 1500 м. Мощности слагающих его отложений обычно не более 5 м. Чениеры имеют лентообразную форму, если их рассматривать в трех измерениях без увеличения вертикального масштаба. Они состоят из тонкозернистого, ракушечного песка с различным содержанием алеврита и ила. Древние чениеры, залегающие ниже дневной поверхности, являются трудно обнаруживаемыми объектами при поисках углеводородов. К тому же из-за малой мощности слагающих их пород они не привлекают большого внимания. Тем не менее, там где они содержат экономически рентабельные скопления нефти и газа, необходимо помнить, что другие параллельно расположенные чениеры могут находиться рядом и содержать промышленные скопления углеводородов.

Электрокаротажная характеристика

Регрессивные прибрежно-морские песчаные тела, барьерные бары и другие прибрежные бары, которые нарастают в сторону моря или в особой ситуации в сторону суши (см. рис. 89), характеризуются обычно тенденцией перехода зернистости слагающих их песчаных образований от более тонкой в нижней части до более грубой в верхней части разреза. Этот переход, который

обсуждался во введении к главе 3 по барьерным и другим прибрежным барам, находит отражение в воронкообразной форме электрокаротажной кривой ПС. Сходство конфигураций кривых ПС в линейно вытянутых песчаных телах, встреченных в отложениях различного возраста и из весьма удаленных друг от друга площадей, иллюстрируется рис. 112.

Песчаная пачка, обозначаемая буквой А, включает черепицеобразно прилегающие друг к другу песчаные тела в разрезе нижнемеловой свиты Вайкинг на нефтяном месторождении Джоркам в Альберте. Свита Вайкинг образует ряд параллельных и дугообразных трендов, каждый из которых представляет собой серию дискретных, но местами сливающихся песчаных тел, отложенных как береговые пески. Эти тренды были сформированы во время периодов непостоянной морской регрессии.

Песчаник В слагает пачку в нижней части верхнемеловой свиты Белли-Ривер на нефтяном месторождении Пембина в Альберте. Это песчаное тело, как и другие тела, развитые в основании свиты, также образует серию прибрежных черепицеобразно прилегающих песчаных тел, отложенных в период регрессии моря. Песчаные пачки, залегающие в интервале, обозначаемой буквой С, сложены прилегающими друг к другу песчаными телами, сформированными как бары в разрезе регрессивной толщи олигоценовой свиты Фрайо в Техасе.

Свита Вайкинг (рис. 113) интересна в том отношении, что она содержит песчаные тела, сложенные регрессивными мор-

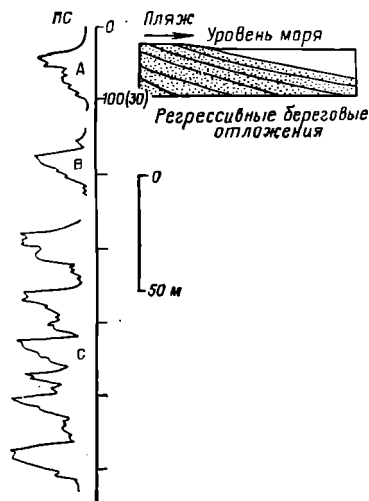


Рис. 112. Электрокаротажные кривые собственного потенциала и обобщенные разрезы регрессивных береговых отложений песка, показывающие воронкообразную форму кривых каротажа и ее соотношение с прилегающими береговыми песками, такими как барьерные бары

А — нижнемеловой песчаник Вайкинг, месторождение Джоркам, Альберта; В — верхнемеловой песчаник Белли-Ривер, месторождение Пембина, Альберта; С — олигоценовый песчаник Фрайо, Техас

скими вдольбереговыми образованиями, для которых характерна типичная воронкообразная форма кривой ПС. В центральной Альберте свита Вайкинг включает ряд субпараллельных, линейно вытянутых тел, которые образуют дугообразный тренд северо-западного направления. Этот тренд протягивается, изгибаясь через всю Южную и Центральную Альберту и заходит

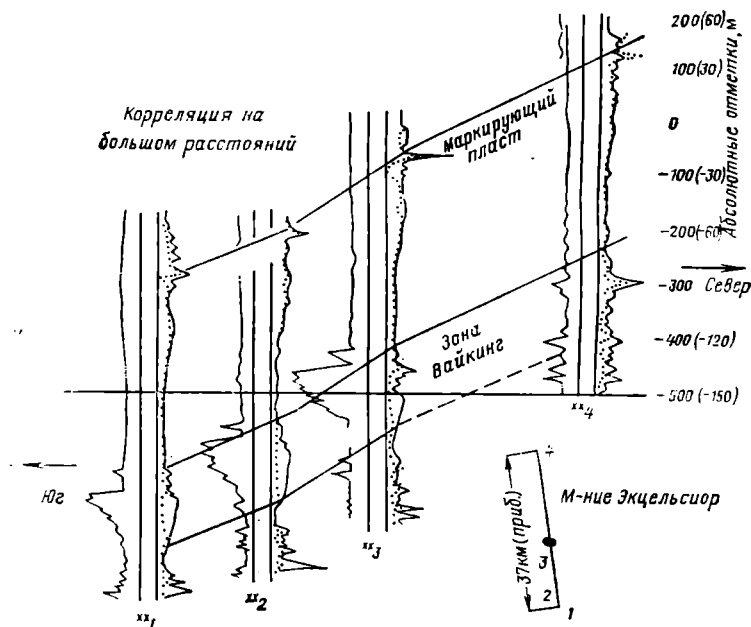


Рис. 113. Электрокаротажный структурный разрез, показывающий воронкообразную характеристику кривой собственного потенциала нефтегазонасыщенной нижнемеловой свиты Вайкинг возле Эдмонтона, Альберта [Tixier M. P. and Forsythe R. L., 1951]

также в Южный Саскачеван. У песчаных тел, составляющих тренд, наблюдается тенденция к чешуйчатому прилеганию. Каждое из них сложено прибрежными песками, сформированными в период регрессии моря в восточном направлении.

О литологии и характере изменения зернистости песчаных тел в разрезе свиты Вайкинг Х. Г. Гаммелл [Gammell H. G., 1955, p. 65] пишет: «Эти пески часто слагают слои мощностью в среднем около 7 м, хотя мощность их местами возрастает и достигает у Эдмонтона 31 м. Пески субграувакковые. Они состоят из белого кварца и окатанных черных зерен кремня, вторично сцементированных кремнеземом. Глауконит, белый кремень, каолин и железорудные конкреции присутствуют в песках в различном количестве. Регионально пески весьма тонкозернистые у северо-восточной зоны выклинивания слагаемой

ими пачки. Они становятся несколько грубее на юго-западе, ближе к источнику сноса. Однако в отдельных слоях могут наблюдаться значительные колебания размеров зерен. Регрессивный тип песчаного слоя с уменьшающимися вверх количеством сланца и алевролита до песчаника, сменяющегося выше тонким прослоем черных кремнистых конгломератов, весьма типичен.

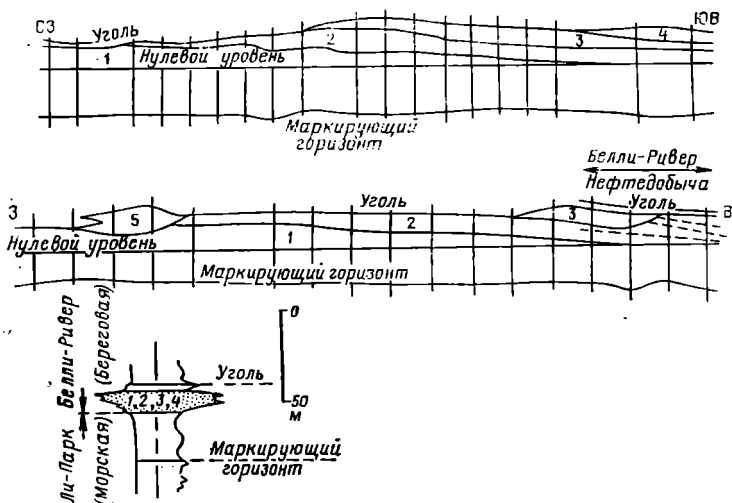


Рис. 114. Стратиграфические профильные разрезы через восточную и юго-восточную части месторождения Пембина, Альберта:

1, 2, 3, 4 — морские чешуйчато прилегающие береговые пески; 5 — пески руслового заполнения

Сланцы свиты Вайкинг обычно алевритисты или песчанисты и содержат углистый материал и остатки рыб. Увеличение вверх по разрезу в составе песчаника Вайкинг количества грубозернистого материала¹, на что указывает Х. Г. Гаммел, четко фиксируется «воронкообразной» формой кривой ПС, как это видно из рис. 113. Такая же электрокаротажная характеристика фиксируется у несогласно прилегающих друг к другу базальных пачек верхнемеловой свиты Белли-Ривер на нефтяном месторождении Пембина в Альберте (рис. 114).

Как показано на рис. 114, морские чешуйчато прилегающие береговые пески протягиваются с севера на юг. Они залегают в основании верхнемеловой свиты Белли-Ривер, которая покрывает морские сланцы свиты Ли-Парк. В эти пески врезаны пески руслового заполнения, отложенные в распределительных рукавах (дельтовых протоках), протягивающихся с запада на

¹ В оригинале была допущена досадная опечатка. Указывалось, что количество тонкозернистого материала увеличивается вверх по разрезу. — Прим. переводчиков.

восток у фронта дельты, распространяющейся в этом направлении. Примечательна воронкообразная форма электрокаротажной кривой собственного потенциала (ПС), типичная для береговых песков, таких как барьерные бары.

Уплотнение

Там, где накопление песчаных отложений происходит с постоянной скоростью и где действие волн и течений по своим масштабам заметно не отличаются, накопившаяся пачка песчаных отложений имеет однородную структуру и состав. Значительное увеличение во взвеси количества алеврита и ила или уменьшение скорости течений и волновой деятельности могут привести к тому, что пески, слагающие склон песчаного тела, обращенный в сторону моря, будут постепенно или резко замещаться слоем алевритового ила. Повторение таких условий осадконакопления может привести к образованию серии песчаных тел, разделенных слоями алевритового ила. До уплотнения и литификации границы каждого песчаного тела ясно очерчены. После уплотнения такие слои алевритовых илов, отделяющие песчаные тела, могут при сдавливании образовать тонкие разделы, которые не фиксируются электрокаротажем. Песчаная пачка может, на первый взгляд, казаться непрерывным песчаным телом. В действительности она сложена породами, представляющими собой регрессивную стратиграфическую толщу, заключающую несколько чешуйчато прилегающих друг к другу песчаных тел. Более мощные слои алевритового ила в результате уплотнения превратятся в глинистые слои. Последние могут стать надежным экраном для последующих перемещений углеводородов внутри песчаного тела. Выяснение внутреннего строения каждой такой песчаной пачки весьма существенно при палеогеографических и палеогеоморфологических реконструкциях, которые осуществляются при поисках залежей нефти и газа в песчаных телах.

Древние песчаные тела

Регрессивные морские прибрежные песчаные тела, которые характеризуются несогласным прилеганием, обычно с углами меньше чем в 1° [Shelton J. W., 1965], широко развиты в виде протяженных покровов песка, из которых в конечном итоге образуются тонкие диахронные пачки песчаника. Эти пачки могут быть надежными стратиграфическими маркирующими слоями, особенно в тех случаях, когда они перекрывают морские глинистые толщи. В тех местах, где они обнажаются и залегают в виде почти горизонтального слоя, эти пачки устойчивы по отношению к эрозионным процессам и образуют гребни в каньонах и столовых горах. Примером такого соотношения является верхнемеловой песчаник Игл (см. рис. 89), который образует

гребень в обнажении у Биллингса в Монтане, а также слои песчаников, залегающие в подошве верхнемеловой свиты Месаверде в Нью-Мексико. На глубине примеры чешуйчатого прилегания песчаных тел установлены в разрезе нижнемеловой свиты Вайкинг в Саскачеване и в составе базальной песчаной пачки верхнемеловой свиты Белли-Ривер (см. рис. 114) в Альберте.

Базальная пачка свиты Белли-Ривер представляет собой плащеобразно залегающий песчаник, включающий серию чешуйчато прилегающих морских прибрежных песчаных тел, локально прорезанных распределительными рукавами, заполненными более грубым песком, слагающим горизонт Бак-Крик (см. рис. 114).

Эта широко распространенная базальная пачка покрывается сланцами Белли-Ривер, алевролитами и пластами углей, отложенными в условиях дельты. Подстилается она толщиной морских сланцев верхнемеловой свиты Ли-Парк мощностью в несколько десятков метров, на которую во время регрессивной фазы моря были отложены пески, слагающие базальную пачку Белли-Ривер. В районе нефтяного месторождения Пембина, где часть нефти получают из горизонта Бак-Крик, базальная песчаная пачка обычно имеет мощность 35—45 м. На первый взгляд, эта пачка напоминает однородный плащеобразно залегающий мелкозернистый песчаник, но детальная корреляция электрокаротажных диаграмм (см. рис. 114) показывает, что ее внутреннее строение более сложное. Пачка состоит из отдельных песчаных тел, чешуйчато прилегающих друг к другу в восточном направлении и прорезанных распределительными рукавами, заполненными песками от средне- до грубозернистых. Эта толща была отложена во время регрессии моря в восточном направлении в результате продвижения крупной дельты.

В конце времени отложения осадков, слагающих свиту Ли-Парк, регион Пембина был покрыт мелководным морем. Морская регрессия продолжалась и в период времени, соответствовавший накоплению отложений, слагающих свиту Белли-Ривер. В начале этого периода были отложены базальные прибрежные пески. По мере отступления моря морские прибрежные пески мигрировали в восточном направлении, образуя ряд чешуйчато прилегающих отдельных песчаных тел. Они сменялись и перекрывались дельтовыми образованиями, состоящими из отложений, сформированных в заливах, лагунах, эстуариях, береговых болотах и речных распределительных рукавах. Эти отложения теперь образуют слои песчаников, алевролитов, сланцев и углей, покрывающих базальную песчаную пачку регрессивных прибрежных песков. Регрессивная природа этой пачки отражена в распределении зернистости, которая имеет тенденцию перехода от тонкой сверху до очень тонкой внизу, такой переход четко фиксируется в воронкообразной форме электрокаротажной

кривой ПС (см. рис. 114). Характер соотношения чешуйчато прилегающих песчаных тел, наблюдаемых в разрезе свиты Месаверде, в обобщенном виде показан на рис. 115. При этом для наглядности вертикальный масштаб значительно увеличен. Общей чертой песчаной пачки, содержащей в составе песчаные тела, чешуйчато прилегающие друг к другу, сложенные образованиями пляжей, баров и других внебереговых песков, является то, что в своем распространении они имеют некоторую степень линейности, хотя и пользуются широким распространением.

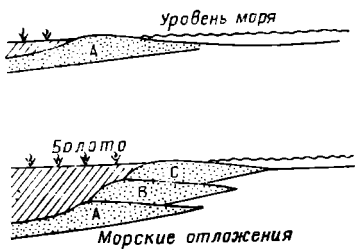


Рис. 115. Схемы, иллюстрирующие нарастание регрессивно прилегающих морских береговых песков, таких как регрессивный нижний горизонт песчаников Месаверде (верхний мел), в Нью-Мексико [Hollenshead C. T. and Pritchard R. L., 1961]
А, В, С — песчаные тела

Нефтяные и газовые месторождения

Значительные скопления нефти и газа известны в регрессивных прибрежных песчаных телах Д. Б. МакКензи [McKenzie D. B., 1972] считает однако их менее перспективными в нефтегазоносном отношении по сравнению с аналогичными трансгрессивными образованиями. На рис. 116 им показаны типы песчаных тел, сформированных во время регрессии и последующей трансгрессии моря. Выделены различные типы ловушек и дана дифференци-

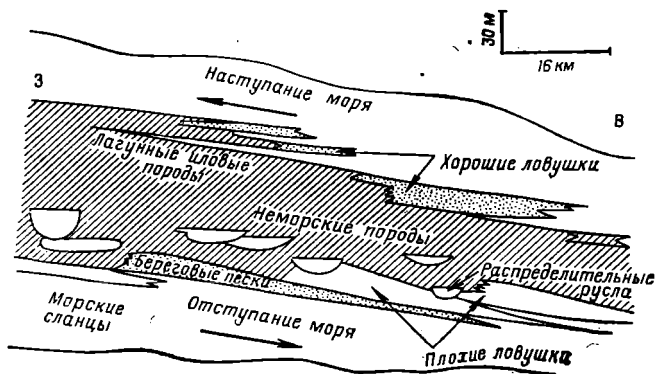


Рис. 116. Схема, показывающая типы песчаных тел, сформированных во время регрессии и последующей трансгрессии моря [McKenzie D. B., 1972, fig. 5]

рованная оценка в отношении перспективности их на нефть и газ. Он пишет на стр. 57: «В течение периодов общей регрессии прибрежные песчаные тела, если они присутствуют, могут за-

мещаться вверх по восстанию слоев дельтовыми отложениями (рис. 116). Эти дельтовые отложения ввиду присутствия в них многих типов песков, в частности, песков распределительных рукавов, вероятно, характеризуются наличием сравнительно плоских барьеров на пути миграции углеводородов вверх по восстанию пластов. Наоборот, в течение периодов общей трансгрессии прибрежные песчаные тела могут замещаться по восстанию лагунными илами, содержащими мало песка, которые, уплотнившись, могут оказаться сравнительно хорошими барьерами для углеводородов, мигрирующих по восстанию слоев. Более того, эти пески могут быть перекрыты морскими глинами, которые являются эффективными барьерами».

Вопрос о правильности такого заключения остается открытым, поскольку ряд морских регрессивных песчаных тел представляет собой коллекторы на многих нефтяных и газовых месторождениях. Хорошим примером служит газовое месторождение Уоттенберг, расположенное в бассейне Денвер (Колорадо), где продуктивны нижнемеловые песчаники *J*, а также несколько месторождений, в которых добыча ведется из нижнемеловой свиты Вайкинг в Альберте и Саскачеване.

Газовое месторождение Уоттенберг, Колорадо

Площадь газового месторождения Уоттенберг составляет примерно 2500 км². Это месторождение находится в осевой части бассейна Денвер. Оно содержит, как полагают, несколько неструктурных ловушек. Скопления газа находятся в плащеобразно залегающем нижнемеловом песчанике *J*, включающем несколько регрессивных песчаных тел, отложенных в пределах фронта продвигающейся в северо-западном направлении дельты. Скопления газа контролируются уменьшением проницаемости вдоль краев песчаных тел. Продуктивные пласты залегают в интервале 2200—2600 м. Средняя эффективная мощность газоносного песчаника составляет 8 м. Пористость в среднем равна 9,5%. Проницаемость довольно низкая (в среднем меньше, чем 1 мД). Приток газа получают только после гидроразрыва песчаного пласта. После заканчивания скважины и начала эксплуатации продуктивных горизонтов в среднем дебиты газа отдельных скважин составляют 9—17 тыс. м³/сут, кроме газа в каждой скважине осуществляется добыча конденсата в объеме 1,4—2,8 т/сут, плотность которого 0,724 г/см³. За 40-летний период на месторождении добыто 37 млрд. м³ газа. Из каждой скважины на площади дренажа в 130 га получено примерно 57 млн. м³ газа.

Нефтяное месторождение Бербанк, Оклахома

Добыча нефти на нефтяном месторождении Бербанк в Оклахоме (рис. 117) осуществляется из ряда песчаных тел пенсильванского возраста, которые образуют четыре параллельных и дугообразных тренда. Песчаные тела, составляющие централь-

ный и северный тренды, расположены эшелонированно. Эти тренды образуют пояс, наиболее мощная и более продуктивная часть которого имеет ширину 5 км и длину 25 км. Мощность отдельных тел песчаников достигает 30 м, и они состоят из хорошо отсортированных зерен, в которых обнаруживается переход от тонких в более мощной части тел до очень тонких возле краев этих тел. Пористость и проницаемость песчаных тел, слагающих тренды, определяется трендом осадконакопления. Они выше там, где песчаник мощнее, т. е. в осевой части каждого песчаного тела. Интерпретация условий осадконакопления этих песчаных тел позволяет предположить [Bass N. W., 1941], что они представляют собой серию чешуйчато прилегающих друг к другу валов и баров, развитых вдоль береговой линии, которая мигрировала в северо-восточном направлении. Кривизна этих трендов также указывает на то, что они представляют собой образования внешнего края прибрежных песков, ограничивающих продвигающийся край лопасти дельты.

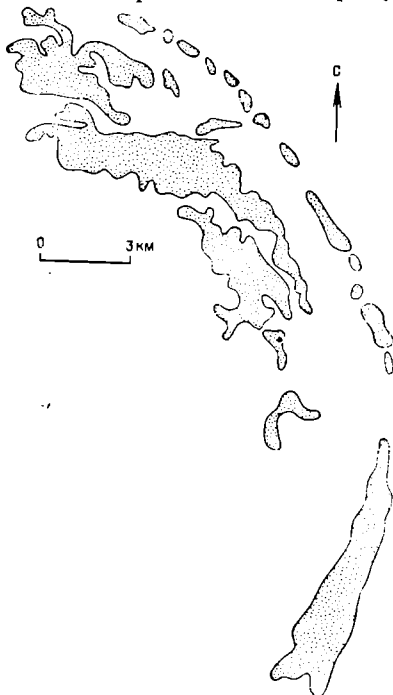


Рис. 117. Распространение зон с начальной нефтедобычей, превышающей 70 т/сут на скважину, месторождения Бербанк и Саут-Бербанк, округа Осейдж и Кей, Оклахома [Bass N. W., 1941]

рых скважин превышала 270 т/сут. На рис. 117 показаны линейные тренды, где начальная добыча превышала 70 т/сут на скважину. Из него видна приуроченность повышенной добычи к более мощным частям криволинейных тел песчаника пенсильванского возраста, отложенных как прибрежные пески. Характерны эшелонированные тренды к востоку от главного криволинейного пояса. Из этих продуктивных зон, включающих часть месторождений Саут-Бербанк, добыто более 5,4 млн. т нефти.

Нефтяные и газовые месторождения в отложениях свиты Вайкинг, Альберта и Саскачеван

В Альберте и Саскачеване добыча нефти и газа на нескольких месторождениях осуществляется из отложений нижнемеловой свиты Вайкинг. В Альберте важнейшими такими нефтяны-

ми месторождениями являются Джоркам, Джофр, Гамильтон-Лейк и Гилби-Бентли. К основным газовым месторождениям относятся месторождения Вайкинг-Кинселла, Провост, Биверхилл-Лейк, Биндлосс, Фэриделл, Седейлия, Сесфорд и Форт-Саскачеван. Основными нефтяными и газовыми месторождениями в Саскачеване являются Милтон, Хусир, Смайли-Дьюар, Уайтсайд, Колвилл-Смайли, Юрика, Бофилд, Додсленд и Эйвон-Хилл. Все эти скопления углеводородов находятся в линейно вытянутых и линзовидных песчаных телах в тех их частях, которые залегают вверх по восстанию, в частности там, где неструктурные ловушки изменены складками, образованными в результате облекания холмов эродированной поверхности палеозоя, или над выступами, сформированными в результате обрушения над зонами выщелачивания слоев палеозойской соли.

Свита Вайкинг представляет собой диахронную стратиграфическую пачку, заключающую пласты песчаников, которая образует дугообразный пояс, простирающийся в северо-западном направлении через южную часть Саскачевана и юг центральной Альберты. Эти линейно вытянутые песчаные тела отчетливо линзовидны, местами они разделены слоями сланцев и в стратиграфическом разрезе характеризуются несогласным прилеганием друг к другу. Они накапливались как береговые и прибрежные пески в регрессирующем море и сформировали пляжи и бары. Литология и электрокаротажная характеристика песчаников Вайкинг описаны в начале этой главы. Эти песчаники подстилаются морскими сланцами свиты Джоли-Фу, которая является нижним членом нижнемеловой группы Колорадо и перекрывается сланцами и алевролитами этой же группы. В Саскачеване фиксируется небольшое несогласие в основании свиты Вайкинг. Это указывает, что местами здесь происходило отступление моря в период отложения свиты Джоли-Фу перед отложением песков Вайкинг. Свита Джоли-Фу, которая покрывает группу Манвилл (см. главу 5), представлена темно-серыми, с фауной, известковистыми, бентонитовыми сланцами с прослойками алевролита и очень тонкозернистого песчаника. Мощность ее увеличивается к северу, на расстоянии 300 км она возрастает от 6 м (возле Калгари) до 30 м (возле Эдмонта). Наблюдается также увеличение мощности и в восточном направлении (до 45 м в западной части центральной Саскачевана). Фауна в свите Джоли-Фу представлена главным образом двустворками и песчанистыми фораминиферами, указывающими на обстановку прибрежно-морского мелководья.

Несогласное прилегание песчаных тел в разрезе свиты Вайкинг показано на рис. 118, на котором приведен разрез тренда, сложенного отложениями свиты Вайкинг, вблизи от месторождений Юрика и Эйвон-Хиллс в Саскачеване. Этот тренд протягивается в запад-юго-западном направлении к границе

между Альбертой и Саскачеваном, где он соединяется с главным трендом Вайкинг, образуя широкую дугу северо-западного простирания.

Основной объем добычи приходится на долю песчаного горизонта *M*, показанного на рис. 118 и 119. Этот горизонт образует линзовидные ленты песчаника шириной 10—20 км и мощностью до 8 м, которые следуют удивительно выдержанно в

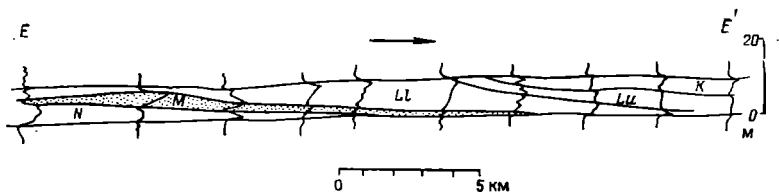


Рис. 118. Профильный разрез *E — E'* нижнемеловой свиты Вайкинг по данным бокового каротажа, показывающий регрессивное прилегание песчаника горизонтов *N, M, LI, LII* и *K* в пределах нефтяного и газового месторождений Юрика и Эйвон-Хилл, Саскачеван [Evans W. E., 1970].

Стрелка показывает направление отступления Колорадского моря

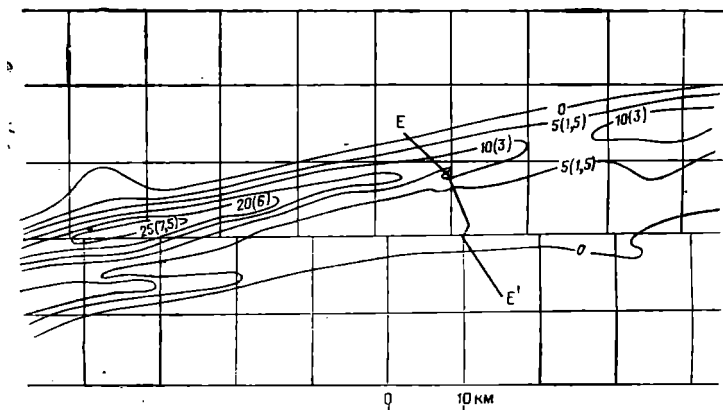


Рис. 119. Карта равных мощностей горизонта *M* нижнемеловой свиты Вайкинг в районе нефтяных и газовых месторождений Хусир, Смайли-Дьюар, Колвилл-Смайли, Юрика, Бофилд и Додсленд, Саскачеван [Evans W. E., 1970]

Сечение изопакит 5 футов (1,5 м)

направлении запад — юго-запад. Тренд прослежен бурением на расстояние более чем 100 км.

Горизонт *M* отделяется от подстилающего горизонта *N₂* (см. рис. 118) бентонитовым прослоем, который, вероятно, образовался вследствие выпадения вулканического пепла. Внутри горизонта *M* наблюдается изменение зернистости от более тонкой внизу до более грубой вверх. Пористость увеличивается

в более мощной части песчаного тела и, в частности, улучшается в зонах, где развита кремневая галька. Эти зоны гальки были, очевидно, сформированы как остаточные отложения на пляжах, где течения и волновая деятельность наиболее сильно вымывали осадки.

Скопления нефти и газа в многочисленных песчаных телах свиты Вайкинг находятся в более пористых и проницаемых их частях, залегающих вверх по восстанию слоев. Более мощные части песчаного тела могут быть водоносными, тогда как более тонкие и менее проницаемые части вверх по восстанию могут быть нефтеносными. На рис. 120 приведена карта изопакит продуктивного песчаника свиты Вайкинг на газовом месторождении Форт-Саскачеван. На рис. 121 приведена карта песчанистости

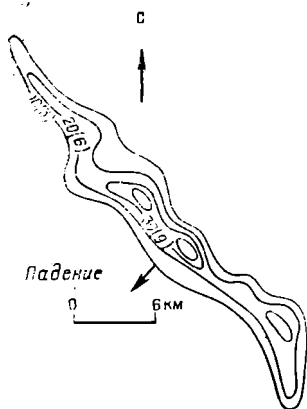


Рис. 120. Карта равных мощностей продуктивной части песчаного тела в нижнемеловой свите Вайкинг, газовое месторождение Форт-Саскачеван северо-восточнее Эдмонтона, Альберта [White L. H. and Org J. B. V., 1968].

Сечение изопакит 10 футов (3 м)

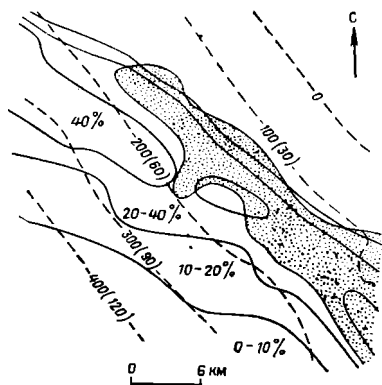


Рис. 121. Карта песчанистости нижнемеловой свиты Вайкинг (в %), газовое месторождение Форт-Саскачеван, показывающая поле месторождения (точечный крап) и структуру поверхности свиты Вайкинг в изогипсах (пунктир) [White L. H. and Org J. B. V., 1968].

Сечение изогипс 100 футов (30 м)

свиты Вайкинг в процентах, составленная для той же площади. На ней показан также и структурный план этого газового месторождения. В этом примере газовое скопление связано не с соотношением в свите песчаников и сланцев, а с положением зоны выклинивания самого песчаного тела вверх по восстанию слоев. Эффективная мощность коллектора в разрезе этого песчаного тела достигает 15 м. Пористость в среднем равна 22%. Вниз по

падению песчаники Вайкинг водонасыщены. На начало 1966 г. из недр одного газового месторождения Форт-Саскачеван было добыто 2,5 млрд. м³ газа из подсчитанных извлекаемых запасов 5,72 млрд. м³. Общие начальные геологические запасы газа в песчаниках Вайкинг в Альберте составляют 122 млрд. м³, из которых на долю извлекаемых запасов приходится более 85 млрд. м³, что составляло около 7% от общих извлекаемых запасов газа в Альберте, подсчитанных на начало 1970 г. Общие начальные геологические запасы нефти в песчаниках Вайкинг в Альберте оцениваются более чем в 44 млн. т. Из них 14,8 млн. т, составляющих меньше чем 1,5% общих извлекаемых запасов нефти в Альберте, может быть извлечено.

Нефтяное месторождение Сабр, Колорадо

Добыча нефти на нефтяном месторождении Сабр (рис. 122), расположенном на восточном борту бассейна Денвер, осуществляется из песчаного тела в разрезе верхнемеловой песчаной

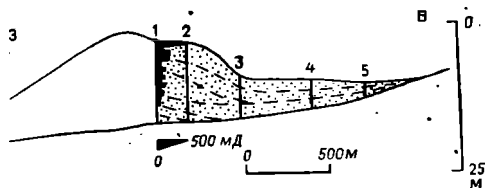


Рис. 122. Геологический разрез нефтеносного барьерного бара Сабр (округи Логан и Уэлд, Колорадо), сложенного верхнемеловым песчаником *D* [Griffith E. G., 1966]

пачки *D*. Внутреннее строение этого барьерного бара изучено на основе корреляции разрезов пяти скважин. Песчаник *D*, слагающий эту пачку, покрывается и подстилается морскими отложениями, представленными соответственно верхнемеловыми сланцами Гранерос и сланцами Хантсмен. Сланцы Хантсмен покрывают внебереговой морской песчаник *J*, который является продуктивным в месторождении Уоттенберг в Колорадо, речь о котором шла ранее в этой главе. В Небраске песчаник *J* на восточном борту бассейна Денвер прорезан речными палеорулами, заполненными песками, которые местами образуют структурно-стратиграфические ловушки для нефти (см. рис. 48). Нефтеносное песчаное тело на месторождении Сабр представляет собой серию линейно вытянутых линз, простирающихся в северном направлении. Их мощность достигает 15 м, ширина около 2 км, а длина более чем 15 км. Это тело, известное как бар Сабр, характеризуется изменением мощности по его простиранью. Общая форма тела представляет собой форму связанных единым шнурком стручкообразных линзовидных песчаных тел. Песчаник слюдястый и очень тонкозернистый. Пористость и проницаемость его изменчивы, последняя достигает 500 мД. Реконструкция вероятной первоначальной формы песча-

ного тела Сабр (см. рис. 122) показывает, что оно имело форму бара. Эта интерпретация, основанная на корреляции разреза скважин вкрест простирания тела, свидетельствует, что проницаемость увеличивается вверх по разрезу. Последнее характерно для барьерных и других внебереговых баров, в которых наблюдается переход от тонкой зернистости в нижней части до более грубой в верхней части разреза. На месторождении Сабр добывают нефть с небольшим количеством попутного газа. Для поддержания добычи нефти в объеме 1,4—8,1 т/сут осуществляют гидроразрыв продуктивного пласта. Газонефтяной и водо-нефтяной контакты внутри песчаного тела, по-видимому, являются горизонтальными

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Образование трансгрессивных вдольбереговых песчаных тел может происходить в широком диапазоне обстановок осадконакопления — от внутренней неритовой до литоральной в период, когда уровень моря повышается относительно суши. Такие песчаные тела обычно сливаются друг с другом и образуют непрерывные покровы песка, которые нарастают в сторону суши в пределах дельтовой равнины или эрозионной поверхности. Впадины на поверхности суши, такие как долины, развитые по простираанию слоев, т. е. понижения между куэстами, заполняются песком. Последующая эрозия трансгрессивного покрова песка может привести к тому, что сохранятся только останцы внутри этих впадин. Там, где встречаются такие останцовые песчаные тела внутри древних долин, развитых по простираанию слоев, эти тела образуют удлинённые линзы, параллельные простираанию подстилающих пород. Останцовые песчаны тела имеют тенденцию располагаться параллельно простираанию береговой линии моря, в котором они были отложены. Там, где плащеобразный комплекс песчаных тел трансгрессивно покрывает прибрежную равнину или эрозионную поверхность, отдельные песчаные тела образуют береговые валы, которые также простираются вдоль берега. Выяснение условий образования песчаных тел и природы их линейности является существенным для реконструкции палеогеографической и палеогеоморфологической обстановок, от чего во многом зависит успешность поисков нефти и газа. Как отмечает Р. К. Селли [Selley R. C., 1970, p. 111], «очевидно, глубокое понимание не только седиментологии, но и геоморфологии необходимо для того, чтобы предсказать местоположение нефтегазоносных резервуаров в базальных песках трансгрессивных терригенных толщ».

Песчаные тела, отложенные трансгрессирующим морем на дельтовой равнине или эрозионной поверхности, и песчаные тела, находящиеся на континентальном шельфе на расстоянии многих километров от суши, которые продвигаются в направлении берега, существенно различаются. Примером последних являются верхнемеловые песчаники Игл в Монтане (см. рис. 89). Эта песчаная пачка имеет все характерные особенности

барьерного барового комплекса, к тому же явно нарастающего в сторону берега, находящегося отсюда более чем в 80 км [Shelton J. W., 1965]. Еще большее различие может наблюдаться там, где трансгрессирующие морские пески перекрывают аллювиальные пески. Имеются примеры, когда аллювиальные песчаные тела ошибочно принимались за морские песчаные бары из-за их формы. Такими являются, например, нижнемеловые песчаники Эллерсли на нефтяном месторождении Белшил-Лейк в Альберте (см. рис. 39 и 40). Продуктивное песчаное тело в этом месторождении было первоначально принято за песчаный бар, ограниченный алевритистыми илами и известковистыми слоями, образовавшимися в условиях от морских до пресноводных и содержащих фораминиферы и остракоды. Ч. Э. Б. Конибир [Conybeare C. E. B., 1964, 1972] и Р. Мартин [Martin R., 1966] показали, что это песчаное тело является остатком эродированной аллювиальной террасы, находящейся в широкой долине, которая была затоплена солоноватой водой, когда море продвинулось в южном направлении. Еще несколько подобных примеров, свидетельствующих о необходимости с осторожностью подходить к интерпретации условий осадконакопления песчаных тел, приводят Р. К. Селли [Selley R. C., 1970, p. 110] и А. И. Леворсен [Levorsen A. I., 1967, p. 336—337]. Р. К. Селли ссылается на А. И. Леворсена, который отмечает, что нижнемеловой песчаник Кат-Банк в Монтане и базальный песчаник плиоценового возраста Кирикире в Венесуэле являются примерами трансгрессивных песчаных пачек. На самом же деле обе эти пачки неморского происхождения, причем песчаник Кат-Банк заполняет каналы древней дренажной системы (см. рис. 49).

Трансгрессивные плащеобразные пачки морского песка сравнительно маломощны и широко распространены. Там, где трансгрессия моря охватывает площадь дельты, пески покрывают отложения прибрежно-маршевых болот, илы заливов и пески распределительных каналов. Там же, где трансгрессия моря происходит на поверхности, выраженной угловым несогласием, пески трансгрессирующего моря перекрывают эродированные породы, почвы и аллювиальные или озерные отложения. Трансгрессивные песчаные пачки формируются в этом случае за счет переработки существовавших до того отложений и почв, в результате эрозии песчаных выступов, обнажавшихся вдоль пляжей, и за счет накоплений песка, вынесенного из речных устьев вдольбереговыми течениями. Последний фактор имеет, вероятно, меньшее значение в условиях трансгрессии, когда объем приносимого рекой в море материала, вероятно, значительно меньше, чем в регрессивную фазу. Более низкая скорость седиментации при образовании трансгрессивных пачек осадков, по-видимому, приводит к большей степени вымывания и сортиров-

ки осадков, формированию пачки сравнительно малой мощности и в некоторых случаях также отражается на относительно высоком содержании кварца в песках.

Электрокаротажная характеристика

Трансгрессивные, плащеобразные пачки формируются в результате постепенного продвижения пляжа в сторону поверхности суши. Это продвижение облегчается там, где поверхность суши расположена низко относительно уровня моря, что наблюдается в пределах дельтовых равнин и других прибрежных низин. Нарастающее в сторону суши песчаное тело охватывает часть пляжа, подверженного действиям низкого прилива, и широкое подводное продолжение пляжа. В направлении суши, в зоне наиболее сильной волновой деятельности, пляжевые пески представлены в основном грубозернистыми разностями. В направлении моря — более спокойной обстановке и более глубокой воде — отлагается тонкозернистый песок. Далее, в еще более глубоководных условиях, песок переходит в алевриты и илы, которые при постоянном продвижении пляжа в сторону суши все больше захороняют песчаную пачку. Законы, определяющие механическую дифференциацию осадочного материала в процессе перемещения пляжа, являются такими же, как и при продвижении барьерного бара, о чем шла речь ранее. Разница состоит лишь в том, что в предшествующем случае фронт отложения мигрирует в сторону берега, тогда как в последнем — в сторону моря.

Отложения, слагающие трансгрессивную песчаную пачку, по своей гранулометрии характеризуются переходом от тонкозернистых разностей вверху до более грубозернистых внизу. Аналогичный переход наблюдается и в речных песчаных отложениях, таких как песчаные тела русловых заполнений и прирусловых отмелей. По этой причине необходима осторожность в интерпретации генезиса некоторых базальных песчаных пачек. Становится также понятным, почему некоторые из таких песчаных пачек как, например, нижнемеловой песчаник Кат-Банк в Монтане был отнесен к трансгрессивным образованиям [Selly R. C., 1970, p. 110]. Изменение гранулометрии в разрезе не всегда заметно, но когда оно имеется, то обычно отражается в колоколообразной форме электрокаротажной кривой собственного потенциала (ПС).

Эти характеристики трансгрессивных песков приведены С. Дж. Пирсоном (Pirson S. J., 1970) на диаграммах, где были совмещены кривые собственного потенциала и показания наклономера. Они также были рассмотрены Дж. Д. Пейтом [Pate J. D., 1959] на электрокаротажных разрезах стратиграфического интервала, включающего трансгрессивный пенсильванский песчаник Тонкава во впадине Анадарко в Оклахоме.

С. Дж. Пирсон, кроме того, привел теоретические кривые собственного потенциала для регрессивных отложений, слагающих свиту Пойнт-Лукаут, и трансгрессивных образований свиты Клифф-Хаус в разрезе верхнемеловой серии Месаверде в бассейне Сан-Хуан в Нью-Мексико. Эти свиты сливаются латерально, переходя вверх от регрессивной к трансгрессивной фазе. С. Дж. Пирсон считает, что скорость трансгрессии может быть оценена по более резкой выраженности колоколообразной кривой собственного потенциала. Это усиление косвенным образом свидетельствует о характере изменения гранулометрии по разрезу, обусловленной действием агентов сортировки, активность которых значительно больше в высокоэнергетических условиях, существующих вдоль береговой линии быстро наступающего моря.

Уплотнение

Трансгрессивные морские вдольбереговые песчаные тела сравнительно маломощны и широко развиты. Они отлагаются на поверхности суши в пределах прибрежной равнины, которая может быть эрозионной поверхностью или аккумулятивной дельтой. Там, где трансгрессивная песчаная пачка залегает на эродированных породах, уплотнение залегающих выше пород будет слабо влиять или совсем не влиять на их форму. Важным фактором, контролирующим их первоначальную форму, является конфигурация поверхности, на которой были отложены эти пески. Последующая эрозия покрывающих пачку слоев и самой песчаной пачки приведет к изменению их формы, оставив изолированные тела песчаников, такие как клинья, линзы долины, развитых по простиранию слоев, и останцы песчаников в более древних топографических впадинах.

Там, где эрозия затронет и подстилающие слои, останцы покровообразной трансгрессивной пачки песчаников могут сохраниться как нащепки на торцовых и столовых возвышенностях. Прекращение поднятия территории и ее эрозии, последующая трансгрессия моря и захоронение отдельных более устойчивых песчаных тел тонкозернистыми эстуариевыми и морскими осадками может привести к образованию в результате уплотнения покрывающих их отложений ряда перспективных ловушек для нефти и газа.

Там, где трансгрессирующая морская песчаная пачка залегает на слабо уплотненных или совсем неконсолидированных отложениях, таких как глины и илы, подстилающие поверхность береговой дельтовой равнины, уплотнение этих подстилающих пород может иметь существенное влияние на последующую форму этой пачки. Слабые изменения углов падения плащеобразной песчаной пачки могут быть отображением различного соотношения между содержанием песка и ила в отдельных

частях толщи подстилающих отложений, подвергшихся уплотнению. Более отчетливые изменения углов падения слоев могут отражать местное облекание глинами залегающего ниже песчаного тела, такого как барьерный бар. Другими факторами, оказывающими влияние на изменение углов падения трансгрессивной песчаной пачки уже в постседиментационный период, являются уплотнение подстилающих ее отложений, залегающих на неровной поверхности, и образование конседиментационных сбросов, вызванных оползанием масс внутри подстилающего разреза. Последние могут привести к местной деформации трансгрессивной песчаной пачки с образованием моноклинальных структур.

Древние песчаные тела

Классическим примером трансгрессивных песчаных образований является ордовикский песчаник Сен-Питер в Миннесоте. Этот рыхлый песчаник состоит из хорошо окатанных зерен кварца почти одинаковых размеров. Окатанные кварцевые зерна имеют характерную рябую поверхность, которая рассматривается как характерный признак их эолового происхождения. Песчаник слагает пачку, которая залегает отчетливо плащеобразно. Мощность ее в среднем составляет 23 м, но местами достигает 90 м, покрывает площадь приблизительно в 575 000 км², согласно Е. К. Демпльсу [Dapples E. C., 1955]. Песчаник Сен-Питер связан с шельфовыми карбонатами и рассматривался Е. К. Демпльсом как непрерывная серия соединяющихся береговых песков, мигрирующих на стабильный шельф. Девонский песчаник Орискейни в Западной Виргинии, представляющий собой кварцевый аренит, цементированный кварцем с образованием ортокарцита, также рассматривался как трансгрессивная песчаная пачка. Эти примеры являются, вероятно, исключительными в том отношении, что песчаники состоят почти целиком из кварцитовых зерен, хотя в общем можно сказать, что трансгрессивные пески обычно кварцевые. Регрессивные пески обычно полимиктовые, но могут быть и кварцевыми, как это видно на примере с некоторыми современными пляжевыми песками, развитыми в районе Мексиканского залива. Речные пески по своему составу состоят из смеси кварцевых и полимиктовых зерен с преобладанием первых.

Происхождение песков, сложенных целиком кварцевыми зернами, точно не установлено. Они могли образоваться в результате эрозии кварцевых песчаников, из песчаных дюн или из существовавших до этого песков. Весьма вероятно, что песчаные зерна во всех таких кварцевых песках переотложжены несколько раз. Вопросы, касающиеся этой проблемы, обсуждались Ф. Дж. Петиджоном, П. Е. Поттером и Р. Сивером [Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R., 1972, p. 224—225]. Другим классическим

примером трансгрессивного морского песчаника является нижнекембрийский песчаник Тейпитс, обнажающийся в Гранд-Каньон в Аризоне. Этот песчаник залегает на докембрийских породах и перекрывается, в свою очередь, морскими сланцами, слагающими свиту Брайт-Эйнджел среднекембрийского возраста. Описывая крупное несогласие, на поверхности которого залегает песчаник Тейпитс, Е. Д. Мак-Ки [McKee E. D., 1969, p. 79] отмечает: «Его положение ясно видно со многих удобных точек на бортах каньона, но вид его еще более впечатляет при рассмотрении его с более близкого расстояния вдоль границы Колорадо. Местами поверхность этого несогласия является поразительно плоской даже на расстоянии в несколько километров, она срезает вертикально стоящие слои кристаллических сланцев и других метаморфических пород раннекембрийского возраста и перекрывается горизонтально залегающими слоями кембрия. В других местах в разрезе наблюдаются неровные холмы или хребты в несколько десятков метров высотой, сложенные позднекембрийскими кварцитами и другими устойчивыми породами, которые окружены и захоронены осадками, отложенными в кембрийском море». Е. Д. Мак-Ки указывает на большой промежуток времени, соответствующий этому несогласию, ссылаясь на расчеты, сделанные Р. П. Шарпом [Sharp R. P., 1940], который оценил его в 100 млн. лет.

Песчаник Тейпитс описан Е. Д. Мак-Ки [McKee E. D., 1969, p. 80] следующим образом: «Песчаники Тейпитс являются массивными. Они слагают пачку, образующую уступы в рельефе. Мощность ее колеблется от 30 до 90 м вдоль площади каньона. В большинстве мест этот песчаник шоколадно-коричневый, но в некоторых местах серый или кремовый, а в других — красно-коричневый. Песок, из которого он образован, грубо- и среднезернистый, грубые частицы преобладают в разрезе, за исключением верхней его половины, где распространены среднезернистые разности. Наблюдается отчетливая слоистость, обусловленная различной степенью цементации по разрезу, которая является причиной различной устойчивости слоев к процессам выветривания и приводит к чередованию плотных и мягких пород, образующих соответственно карнизы и мелкие углубления. Обычны ровные слои мощностью до нескольких сантиметров, но еще более распространенной текстурной особенностью является косая слоистость внутри слоев, мощность которых колеблется от 0,1 до 0,3 м. Большинство косых слоев выражены в виде плоских или клинообразных пластинок, но местами встречается слоистость желобообразного типа. Асимметричные волноприбойные текстуры, ходы трилобитов и проблематичные следы сверления червей широко распространены и многочисленны в некоторых местах. Во многих местах песчаник Тейпитс вверх по разрезу переходит в глинистые породы свиты Брайт-

Эйнджел. В зоне перехода наблюдается чередование грубозернистых песчаных слоев с зелеными сланцевидными аргиллитами».

Нефтяные и газовые месторождения

Нефтяные и газовые скопления встречаются в трансгрессивных песчаных телах морских побережий. Однако больше залежей нефти и газа известно в регрессивных песках. Д. Б. Мак-Кензи [MacKenzie D. B., 1972] выдвинул идею, что хороших ловушек в трансгрессивных песках может быть больше, чем в регрессивных песчаниках, поскольку первые покрываются менее проницаемыми морскими глинистыми породами, тогда как последние покрываются дельтовыми песками и алевролитами, которые при уплотнении образуют менее эффективную крышку. Исходя из этого, Д. Б. Мак-Кензи придерживается своей точки зрения. Однако статистика показывает, что число известных нефтяных и газовых месторождений в регрессивных песчаных телах значительно превышает число известных в трансгрессивных телах. По-видимому, важнейшим фактором, определяющим перспективы нефтегазоносности трансгрессивных и регрессивных осадочных толщ, является относительное количество содержащегося в них органического вещества. В регрессивных толщах органического вещества содержится больше. Речные системы дренируют обширные площади и несут органическое вещество в коллоидной форме в виде размельченных растительных обломков. Это органическое вещество поступает в море, где измельченные растительные обломки отлагаются, а коллоиды осаждаются в результате смешивания соленых и пресных вод. Кроме того, дельтовые осадки, отлагающиеся в соленой воде заливов и в условиях пойменных болот, богаты органическим веществом как растительного, так и животного происхождения. Следует также подчеркнуть, что трансгрессивные толщи обычно отлагаются на плоских прибрежных равнинах, которые обрамляются низменностями. Из последних мало приносится осадков и органического вещества. Трансгрессивная природа береговой линии, подверженной активной эрозии благодаря волновой деятельности, не благоприятна для роста прибрежных болот и для развития многочисленных организмов, которые обитают в более защищенных прибрежных условиях. Более того, высокоэнергетические условия не способствуют сохранению органического вещества в илах.

Немаловажным фактором является и характер поверхности, на которой отлагается трансгрессивная песчаная пачка. Там, где эрозионная поверхность подстилается консолидированным материалом и скальной породой, нефтематеринские породы могут содержаться только в разрезе залегающей выше трансгрессивной морской толщи, перекрывающей эту эрозионную поверх-

ность. Наоборот, там, где этой поверхностью является дельтовая равнина, подстилаемая неконсолированными, богатыми органическим веществом илами, нефтематеринские породы могут быть как в разрезе подстилающих дельтовых отложений, так и в разрезе залегающих выше морских образований.

Интересно, что первый значительный приток нефти из поисковой скважины, пробуренной в Австралии, хотя он и не был промышленным, был получен в 1953 г. из нижнемеловой трансгрессивной пачки в Западной Австралии, из песчаника Бердронг. Скв. 1 Раф-Рендж вначале фонтанировала нефтью плотностью $0,87 \text{ г/см}^3$, дебитом до 83 т/сут , но впоследствии залежь оказалась непромышленной. Это скопление нефти в песчаниках Бердронг, слагающих плащеобразно залегающую песчаную пачку, несогласно покрывающую юрские и более древние породы, приурочено к структуре, образованной в результате облеkania песчаниками залегающего ниже удлиненного погребенного холма. Песчаники Бердронг выражены чистыми кварцевыми разновидностями, глауконитовыми в своей верхней части. Коллектор имеет хорошую пористость и проницаемость и является главным источником артезианской пресной воды в бассейне Карнарвон.

Газовое месторождение Ярдарино-Донгара, Западная Австралия

На месторождении Ярдарино-Донгара в Западной Австралии газ и нефть добывают из базального песчаника Ярдарино, залегающего в нижней части триасовой свиты Коккейти. Этот песчаник, который несогласно лежит на докембрийских и пермских слоях, представляет собой трансгрессивную морскую пачку. Он состоит из светло-серого кварцевого от очень тонко- до грубо-зернистого песчаника с прослоями конгломерата. В районе месторождения, где мощность песчаника достигает около 55 м, он перекрывается морскими сланцами. Пористость коллектора составляет 25%, но в среднем — около 17%; проницаемость — несколько тысяч миллидарси, но обычно в среднем — 100—700 мД. Залежь месторождения по существу содержится в структурно-стратиграфической ловушке. Мощность песчаников Ярдарино заметно уменьшается над эрозионным выступом фундамента. Добывают на месторождении в основном газ, содержащий приблизительно 97% метана. Кроме того, в газе содержится конденсата до 7 т на 1 млн. м^3 и небольшое количество вязкой нефти плотностью $0,850 \text{ г/см}^3$. Извлекаемые запасы газа составляют порядка 14 млрд. м^3 [Core R. N., 1972]. В газе содержится как минимум 79,5 тыс. м^3 конденсата. Пластовые воды, подстилающие газ и нефть, по своему составу изменяются от соленых до соленых.

Добыча газа на месторождениях Ред-Ок, Уилбертон и Кинта осуществляется из песчаников, залегающих в основании и в нижней части нижнепенсильванской свиты Атока. Базальные песчаники, называемые песчаником Фостер, слагают нижний горизонт нижнепенсильванской свиты Атока в бассейне Мак-Алестер в Восточной Оклахоме. Они слагают четыре отдельных пояса, простирающихся на юго-восток (рис. 123). Эти песчаники

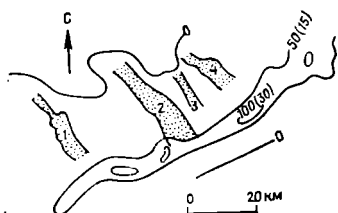


Рис. 123. Схемы размещения песчаных трендов Фостер (1, 2, 3, 4), образованных отложениями заполнения эрозионных промоин дельтовых проток, перекрытых протягивающимся в северо-восточном направлении береговым песком Спайро, мощностью до 100 футов (30 м) [Lumsden D. N., Pittman E. D. and Buchanan R. S., 1971]

лежат несогласно в эрозионных впадинах на известняках или сланцах пенсильванской свиты Упанука. Песчаник Фостер, мощность которого достигает 9 м, состоит преимущественно из хорошо окатанных от мелких до средних зерен кварца. Он обычно косослоистый и содержит обломки сланца и ископаемой древесины. Происхождение этой базальной пачки песчаника, несомненно, аллювиальное. Пески были отложены в системах параллельных речных распределительных рукавов, которые простирались в юго-восточном направлении через береговую равнину шириной, по крайней мере, 60 км. Часть газа, включая добычу его на месторождении Кинта, получена из песка Фостер, который покрывается песком Спайро — трансгрессивной морской пачкой мощностью до 30 м. Спайро слагает удлиненную пачку песчаника, протягивающуюся на юго-запад, вкост тренда Фостер, на расстояние более чем 100 км. Песок Спайро тоже кварцевый, вероятно, в большей своей части образовавшийся из песка Фостер. Слагающий его материал умеренно отсортирован и представлен разностями от очень тонкозернистых до тонкозернистых. В целом Спайро рассматривается как покровный песчаник. Однако он состоит из массивных линзовидных слоев, отложенных как береговые пески, которые переслаиваются с тонкими прослойками илистых песков и сланцев. В его разрезе наблюдается пологая косая слоистость и биотурбации. Первая, вероятно, является следствием изменений углов наклона в аккумулятивных склонах пляжей, распространяющихся в сторону моря.

Песок Спайро, продвигавшийся с трансгрессией моря в северо-западном направлении, развит неодинаково. На некоторых участках вдоль его простираения встречаются более мощные и

более проницаемые интервалы. Скопления сухого газа, которые в основном контролируются стратиграфическими ловушками, известны на месторождениях Ред-Ок и Уилбертон.

Нефтяные месторождения в отложениях свиты Морроу, Оклахома

Добыча нефти на нескольких месторождениях в бассейне Анадарко в Оклахома ведется из песчаника Чероки базальной пачки нижнепенсильванской свиты Морроу. Песчаники Чероки залегают несогласно на миссисипских слоях, представленных известняками и сланцами (рис. 124). Эта трансгрессивная пачка

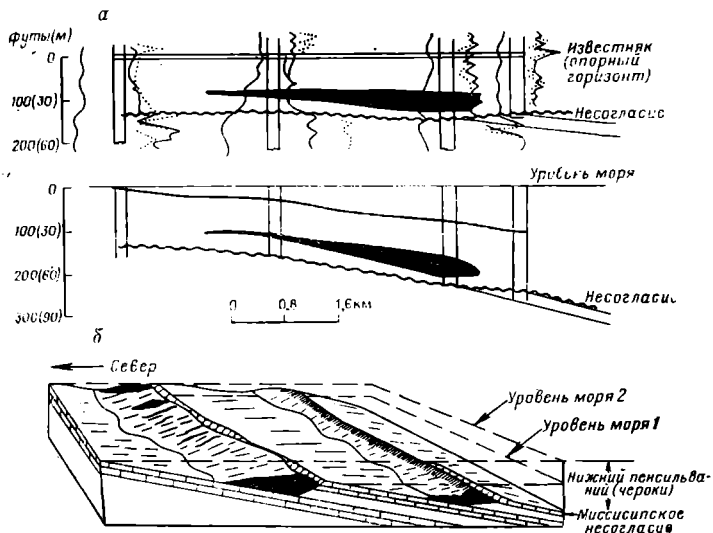


Рис. 124. Электрокаротажный разрез (а) и обобщенная блок-диаграмма (б), показывающие распространение нефтеносного пенсильванского песчаника Чероки, развитого как междуэстовые пески у куэст, образованных на эродированной поверхности миссисиппия в Анадаркском бассейне, Оклахома [Busch D. A., 1959]

образует смятый в складки покров песка, заключающего параллельные тренды, вдоль которых этот песчаник становится более мощным. В зависимости от того, кровля или подошва песчаной пачки выбирается в качестве нулевой поверхности, при палеогеологических реконструкциях эти мощные тренды выглядят соответственно как топографические депрессии или хребты. В интерпретации Д. А. Буша [Busch D. A., 1959] они являются барообразными песчаными телами, отложенными в эрозионных впадинах между куэстами, которые образовались в результате неодинаковой эрозии обнажавшихся слоев известняка и сланца. Если это так, то они могут расцениваться как пески междуэсто-

вых долин. Д. А. Буш [Busch D. A., 1959, p. 2823] пишет: «Пески междуэстовых долин получили свое название в связи с тем фактом, что они отложены в понижениях между куэстами во время затопления суши трансгрессирующим морем. Такие куэсты могут представлять собой или обрывы эрозионного происхождения, или сбросовые уступы.

Эти мощные линейно вытянутые песчаные тела являются линзовидными в разрезе. Длина их достигает 65 км, ширина — 3 км и мощность — 15 м. Они довольно резко выклиниваются вдоль более мощной своей краевой части, где переходят в глинистые фации. При этом на краю, обращенном в сторону суши, выклинивание происходит на склоне каждой куэсты. Эти параллельные песчаные линзы пересекаются погружающимися на северо-запад складками, которые формируют структурные перегибы внутри песчаника в некоторых местах. К этим перегибам и

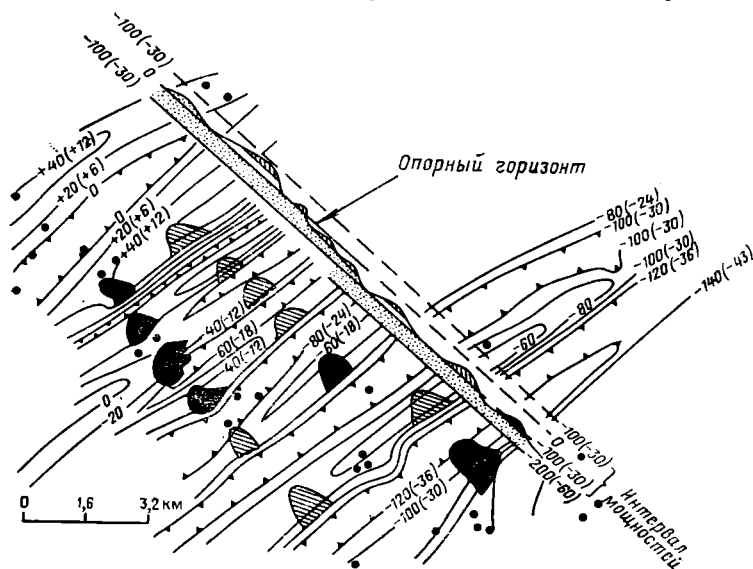


Рис. 125. Карта равных мощностей интервала между относительным нулевым уровнем и кровлей песчаного горизонта в пенсильванской свите Морроу в Северо-Западной Оклахоме

Рисунок показывает известные (залитые черным) и предполагаемые нефтяные месторождения, развитые там, где песчаные гребни пересекаются складками, погружающимися в северо-западном направлении [Busch D. A., 1959]

приурочены скопления нефти, которые образуют две параллельные цепочки отдельных залежей (рис. 125).

Нефтяное месторождение Миллиган, Британская Колумбия

На нефтяном месторождении Миллиган, расположенном в северо-восточной части Британской Колумбии, добыча нефти ведется из верхнетриасового песчаника Халфудэй. Этот песчаник

несогласно залегают на илестых доломитовых слоях свиты Дойг и согласно перекрывается илестыми доломитовыми слоями свиты Чарли-Лейк. Он имеет северо-западное простираие в плане и линзовидную форму в разрезе (рис. 126, 127). На площади месторождения этот тренд, который расщепляется на два параллельных, но связанных субтренда, имеет длину более чем 80 км. Ширина каждого субтренда составляет примерно 3—5 км. Общая ширина главного тренда достигает 10 км. На месторождении Миллиган суммарная мощность песчаника Халфуэй 15 м. Песчаник кварцевый, тонкозернистый и очень тонкий, за исключением базальной его части, которая обычно представлена грубозернистыми разностями. Зерна от полуугловатых до полуокатанных. Пористость достигает 28%, но в среднем равна 22%. Проницаемость 400—600 мД [Clark D. A., 1961]. Электрокаротажная характеристика (рис. 128) песчаника Халфуэй отличается блоковой несколько колоколообразной формой кривой собственного потенциала (ПС).

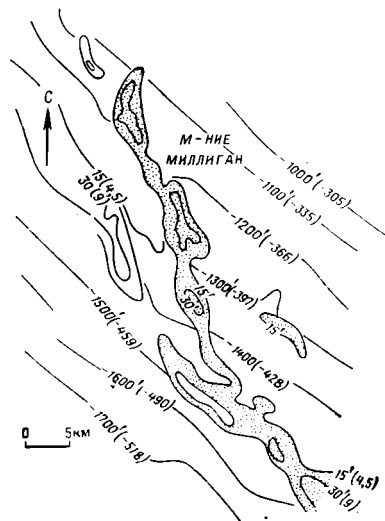


Рис. 126. Карта равных мощностей нефтеносного верхнетриасового песчаника Халфуэй, Британская Колумбия [Mothersill J. S., 1968]

Сечение изогипс 100 футов (30 м), изопакит 15 футов (4.5 м)

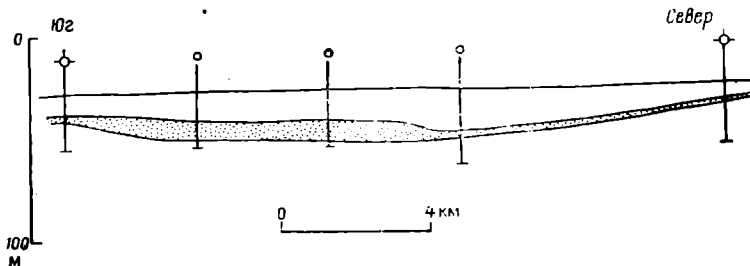


Рис. 127. Палеоструктурный разрез через месторождение Миллиган, Британская Колумбия, показывающий конфигурацию нефтеносного верхнетриасового песчаника Халфуэй в период седиментации [Clark D. A., 1961]

Границы кровли и подошвы резкие. Блоковый характер кривой ПС отражает хорошую отсортированность — от тонких до очень тонких кварцевых зерен. Слабое отклонение формы кривой у основания песчаника отражает наличие здесь мощного

грубозернистого слоя. Характерной чертой является косая слоистость. Склоновые слои обычно погружаются с углами падения меньше чем 20° [Mothersill J. S., 1968]. Амплитуда косых слоев колеблется от одного до нескольких сантиметров, что позволяет относить их к категории от мелких до средних размеров ряби

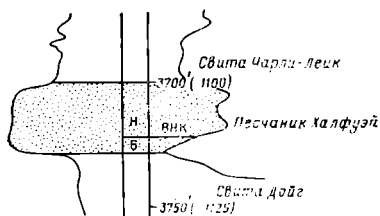


Рис. 128. Типичный электрокаротажный разрез верхнетриасового песчаника Халфуэй, месторождение Миллиган, Британская Колумбия, с указанием водонефтяного контакта [Clark D. A., 1961]

[Conybeare C. E. V. and Crook K. A. W., 1968], образованной течениями. В южной части песчаного тренда Халфуэй поблизости от нефтяных месторождений Пиджей и Керрант верхняя часть песчаника Халфуэй, который нефтеносен в этих месторождениях, содержит тонкие слои ракушек, представленных в основном двустворками.

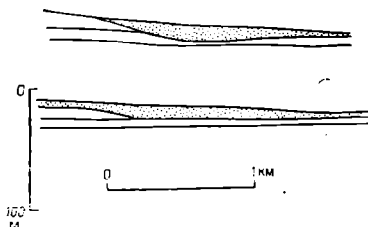
В районе месторождения Миллиган свита Дойг, которая несогласно подстилает песчаник Халфуэй, погружается на юго-запад с наклоном около 7 м/км, тогда как песчаники Халфуэй падают на юго-запад с наклоном слоев примерно 5 м/км. Это соотношение указывает, что во время отложения песчаных образований Халфуэй слои Дойг должны были иметь юго-западный наклон около 2 м/км. Самая нижняя часть песчаников Халфуэй обнажается вдоль предгорий северо-восточной части Британской Колумбии и мощность ее увеличивается в юго-западном направлении на глубине. Хотя песчаник Халфуэй был отложен как невыдержанный покров песка, период трансгрессии моря в северо-восточном направлении, линейная протяженность слагаемых им трендов, характер косой слоистости и наличие более грубозернистых разностей в его базальной части не позволяют однозначно истолковать зависимость формы песчаного тела от палеогеографических условий его накопления. В частности, важно знать, представляют ли песчаные тела в районе месторождения Миллиган отложения баров или являются образованиями распределительных каналов. Использование нескольких поверхностей при составлении стратиграфических разрезов для выяснения условий осадконакопления песчаников Халфуэй может привести при их интерпретации к различным выводам. Вероятно, наиболее убедительной будет интерпретация [Clark D. A., 1961], если использовать в качестве нулевой уровня маркирующую поверхность, залегающую непосредственно выше песчаника Халфуэй. В этом случае можно сделать вывод, что песчаные тела заполняют депрессии, представляющие

собой межуэстовые долины в подстилающей свите Дойг. Параллельные субтренды песчаника Халфуэй в пределах месторождения Миллиган, как полагают, образовались в результате концентрации песка в отдельной межуэстовой долине вдоль берега. Последующая структурная деформация этих трендов сформировала несколько ловушек для нефти, включая и ту, которая содержит залежь на месторождении Миллиган.

Нефтяное месторождение Хоршу, Нью-Мексико

На месторождении Хоршу, расположенном в бассейне Сан-Хуан, в штате Нью-Мексико, добыча нефти осуществляется из базальной песчаной пачки верхнемеловой свиты Найобрара. Песчаник, слагающий эту пачку, залегает несогласно на слабо смятых в складки слоях песчаных сланцев и известняков, которые составляют часть верхнемеловых свит Галлуп и Карлайл. В распространении песчаников наблюдается отчетливо выраженная параллельность песчаных трендов, состоящих из линзовидных песчаных тел. Это является результатом накопления первоначально отложившегося песка в долинах, развитых по простиранию пластов, которые были ограничены куэстами. Последние образованы в результате неодинаковой эрозии глинистых и песчаных слоев, обнажившихся на древнем денудационном срезе (рис. 129 и 130). Песчаные тела были сформированы

Рис. 129. Стратиграфический профильный разрез верхнемелового базального песчаника Найобрара на месторождении Хоршу, бассейн Сан-Хуан, Нью-Мексико [Penttila W. C., 1964]



вдоль куэст на эродированной поверхности свиты Галлуп и Карлайл в течение трансгрессии моря Найобрара.

Работами В. К. Пенттилы [Penttila W. C., 1964] и Д. Г. Мак Каббина [McCubbin D. G., 1969] установлены условия осадконакопления и стратиграфические соотношения базального песчаника Найобрара, который, как они считают, отложен трансгрессирующим морем как береговой песок. Важность этой интерпретации заключается в том, что было впервые доказано существование поверхности несогласия, на которой залегают песчаники Найобрара. Эта поверхность несогласия срезает отложения свиты Галлуп. Ранее эта поверхность несогласия не была известна. Считалось поэтому, что базальный песчаник Найобрара является возрастным аналогом базального песчани-

ка Галлуп. Д. Г. Мак Каббин указывает, что отдельные песчаные тела находятся на морской стороне куэст. При этом более крутые склоны последних обращены в сторону моря. В период наступания моря эти куэсты образовывали хребты, которые временно препятствовали трансгрессии, что выражалось в стационарной береговой линии, с последующим отложением более мощного тела песка.

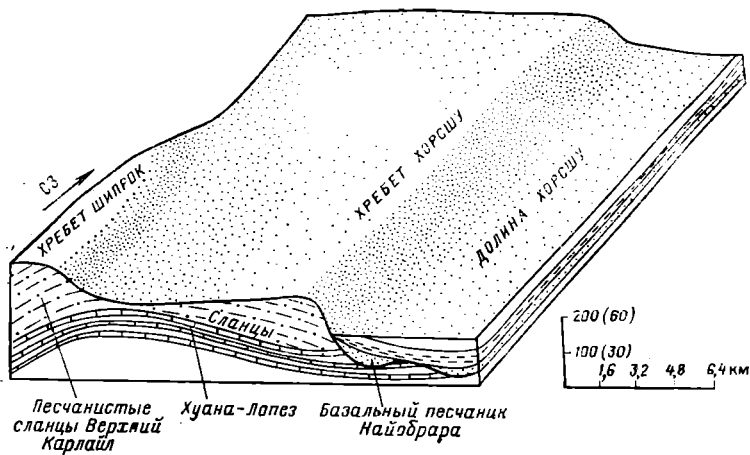


Рис. 130. Обобщенная блок-диаграмма, показывающая стратиграфические соотношения верхнемелового базального песчаника Найобрара с куэстами и междукуэстовыми долинами, сформированными на эродированной поверхности верхнемеловой свиты Карлайл во время трансгрессии моря Найобрара [McCubbin D. G., 1969, с изменениями McKenzie D. V., 1972]

Базальный песчаник Найобрара на месторождении Хоршу включает три пачки, которые залегают на разных стратиграфических уровнях в результате отложения против отдельных хребтов в разное время в течение общего периода морской трансгрессии. Самой древней пачкой является нижний продуктивный горизонт на месторождении Хоршу. Это песчаное тело простирается на юго-восток на расстояние более 40 км. Главное песчаное тело в тренде Хоршу имеет ширину 6 км и мощность до 15 м. Оно разделяется на северо-западе на два отдельных нефтеносных тренда — Мани-Рокс и Меса, каждый из которых имеет ширину около 2 км.

В структурном отношении песчаник Найобрара изменчив. Он представлен мелкозернистыми разностями, переходящими в грубозернистые. Средняя пористость и проницаемость его соответственно составляют 15% и 175 мД. Тонкие прожилки грубого галечного песчаника обычны в разрезах, где песчаник в основном выражен тонкозернистыми разностями. Также присутству-

ют прослойки черного сланца. Д. Г. Мак Каббин [McCubbin D. G., 1969, p. 2122] констатирует: «Наиболее примечательными чертами состава этого песчаника являются ярко-зеленые глауконитовые зерна, на долю которых приходится до 10% породы. Весьма характерны и очень широко распространены в его составе также фосфатные стяжения и гальки». Песчаники также содержат *Inoceramus*, *Ostrea*, зубы акул и остатки костей. В глинистых прослоях обычны биотурбации.

Песчаники обычно косослоисты. Мощность отдельных серий косых слоев колеблется от нескольких сантиметров на глубинах до 1 м и более в обнажениях.

Наклоны косых слоев превышают 20°. Это указывает на то, что слоистость в песках образовалась в результате волновой деятельности. Можно заключить, что обстановка осадконакопления в период накопления песков характеризовалась высокоэнергетическими условиями, свойственными пляжам, вероятно, сочетавшимися с наличием приливных каналов, врезающихся через песчаные бары, которые приводили к переработке песков в отдельных заливах.

На месторождении Хоршшу наиболее древний песчаный горизонт в разрезе песчаников Найобрара образует длинное узкое тело, которое простирается на юго-восток более чем на 60 км в направлении месторождения Ча-Ча. На последнем добыча нефти также осуществляется из песчаников Найобрара. Улавливание нефти и газа определяется стратиграфическими факторами, локально измененными тектонической структурой. На большинстве площадей только выклинивание песчаного тела контролирует образование ловушек, в других местах, в частности там, где встречаются скопления газа, ловушки являются результатом пересечения полосы песчаного тела со складками, погружающимися на северо-восток. На месторождениях Хоршшу — Меса высота газонефтеносной части коллектора достигает 990 м [McCubbin D. G., 1969]. Подсчитанные извлекаемые запасы нефти месторождений Хоршшу — Меса и Мани-Рокс превышают 6,2 млн. т. На долю месторождения Ча-Ча приходится 1,8 млн. т. Таким образом, извлекаемые запасы нефти одной только нижней пачки песчаника Найобрара составляют более чем 8,0 млн. т.

Газовое месторождение Карбон, Альберта

На газовом месторождении Карбон в Альберте (рис. 131) добыча газа производится из песчаника Карбон нижнемеловой группы Манвилл. Этот песчаник является примерным стратиграфическим аналогом широко распространенного так называемого Глауконитового песчаника, слагающего морскую трансгрессивную песчаную пачку в составе группы Манвилл. На других площадях Альберты аналогом Глауконитовых песчани-

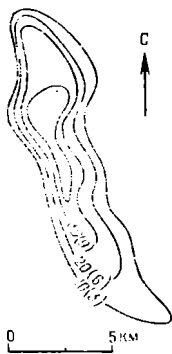


Рис. 131. Карта эффективной мощности продуктивного песчаника в разрезе раннемеловой группы Мапвилл. Газовое месторождение Карбон, Альберта [Workman L. E., 1968]

Сечение изопакит 10 футов (3 м)

ков являются другие песчаные горизонты, известные под другими названиями. Стратиграфически аналогами Глауконитового песчаника Л. Е. Уоркман [Workman L. E., 1958] считает песчаники Хом морского генезиса на месторождении Тернер-Валли в Юго-Западной Альберте, горизонт Уэйбиско на севере Центральной Альберты, глауконитовый песчаник в основании свиты Клируо-тер в Северо-Восточной Альберте и песчаник

Блуски на площади Пис-Ривер в западной части Центральной Альберты.

Глауконитовый песчаник представляет собой выдержанную стратиграфическую пачку на большей части Центральной Альберты. Она перекрывает остракодовый горизонт (тонкий глинистый известняк, содержащий солоноватоводную фауну) и состоит из одного или нескольких глауконитовых песчаных тел. В пределах широкой площади распространения состав и структура Глауконитового песчаника характеризуется значительными изменениями. Это по существу тонкозернистый кварцевый песчаник, содержащий переменное количество полимиктового материала. К востоку от Пятого меридиана и к югу от Эдмонтона Глауконитовый песчаник обычно не является глауконитовым по своему составу. Р. П. Глейстер [Glaister R. P., 1959, р. 623] отмечает: «Этот горизонт преимущественно морской в районе Эдмонтона, но становится неморским в направлении на юг и постепенно теряет свою литологическую однородность». Мощность Глауконитового горизонта обычно составляет 6—9 м, но местами достигает 30 м, резко изменяясь на расстоянии в несколько километров. Это особенно заметно в районе, лежащем восточнее Пятого меридиана, где слагающие его пески обычно аллювиальные. На газовых месторождениях Карбон и Гост-Пайн, например, продуктивные песчаники не содержат глауконита и мощность их меняется в пределах 6—25 м. К востоку от Пятого меридиана аллювиальные песчаники, которые являются примерным стратиграфическим аналогом Глауконитового песчаника, протягиваются в северо-западном, западном и юго-западном направлениях. Эти тренды сформированы речной системой, дренировавшей низменности, лежащие на востоке. К западу от Пятого меридиана Глауконитовый песчаник в основном глауконитовый и содержит большое количество полимиктовых обломков. В этом регионе песчаные тела окаймляют морское побережье, протягиваясь приблизительно на север — северо-запад.

В районе газового месторождения Карбон песчаник Карбон.

встреченный на глубине 1460 м, состоит из нескольких линзовидных песчанниковых тел, разделенных сланцевыми слоями. Эти песчаные тела, которые утоняются и становятся менее пористыми на востоке, образуют пояс северо-западного простирания шириной до 5 км и длиной 25 км. Песчаник Карбон залегает приблизительно на 15 м выше остракодового горизонта и на 15—23 м ниже угольного пласта. Мощность его колеблется от 6 до 25 м. Максимальная эффективная мощность его изменяется в пределах 12—15 м. Базальное песчаное тело является более мощным и грубозернистым, чем залегающие выше него другие песчаные тела. Их соотношения отображаются колоколообразной формой электрокаротажной кривой собственного потенциала продуктивной зоны на месторождении Карбон. Песчаник в основном кварцевый, от тонко- до среднезернистого, довольно хорошо отсортирован и преимущественно состоит из полуугловатых зерен. Пористость находится в интервале 15—25%, в среднем составляет 21%. Проницаемость достигает 3000 мД, но в среднем составляет всего 80 мД.

Песчаник Карбон относится к категории трансгрессивных песков, поскольку он отлагался в период широко распространенного затопления аллювиально-дельтовых отложений морем, соответствующим времени отложения осадков раннего Климуротера. Море трансгрессировало на юг. Слои, прилегающие к песчанику Карбон как сверху, так и снизу, содержат характерные для песчаных отложений фораминиферы, что указывает на внутреннюю неритовую обстановку седиментации, такую, которая наблюдается в солоноватоводных заливах приливных эстуариев. Гладкораковинные остракоды в подстилающей стратиграфической пачке, заключающей два прерывистых прослоя глинистого известняка или более, указывают на местные солоноватоводные условия. Залегающие выше пласты угля, очевидно, были образованы за счет накопления растительности в береговых соленых болотах (маршах). Палеогеоморфологическая природа песчаника Карбон неясна. Он мог сформироваться из тел песка, заполняющих приливные каналы на береговой равнине.

На площади газового месторождения Карбон наблюдается региональное поднятие пластов на запад. В пределах месторождения по маркирующему стратиграфическому горизонту, залегающему в кровле песчаного интервала Карбон, фиксируется локальная моноклиналь. Скопление газа возможно частично и контролируется этой структурой, однако залежь считается приуроченной главным образом к стратиграфической ловушке. Начальные геологические запасы газа месторождения оцениваются в 4,4 млрд. м³, из которых 3,7 млрд. м³ приходится на долю извлекаемых.

Глава 6

ПОДВОДНЫЕ ДОЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Существование современных подводных долин на континентальных шельфах и склонах известно давно. Что касается древних долин, обычно погребенных под толщей третичных и четвертичных отложений, то их удалось установить лишь после осуществления морских сейсмических съемок. Современные долины протягиваются от суши к морю. Одни из них имеют древообразный рисунок, другие — в общем извилистую или дугообразную форму. Хотя известно, что некоторые подводные долины разветвляются в своей краевой части, обращенной в сторону суши, вопрос о том, что для подводных долин характерен древообразный рисунок, остается открытым. Примером является шельф Зунда в Индонезии (рис. 132). В течение плейстоцена

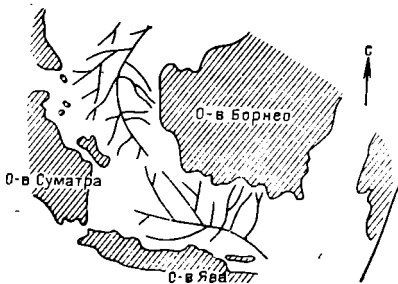


Рис. 132. Древообразный рисунок подводных долин на шельфе Зунда у берегов Индонезии [Kuenen Ph. H., 1950]

большая часть шельфа Зунда была сушей, и существующая здесь древообразная система подводных долин, как считает Г. А. Ф. Моленграафф [Molengraaff G. A. F., 1922], возникла в результате образования системы речных потоков. Г. А. Ф. Моленграафф назвал рекой Сунда главную долину в северной древообразной системе. Его интерпретация была подтверждена Ф. Х. Кюененом [Kuenen Ph. H., 1950], который, однако, рассматривал эти подводные долины как затопленные речные русла, углуб-

ленные приливными течениями. Ф. П. Шипард и Р. Ф. Дилл [Shepard F. P. and Dill R. F., 1966], однако, не поддержали это объяснение без оговорок и отметили, что интерпретация, основанная на возможном существовании древообразного рисунка, является отчасти умоглядной.

Некоторые подводные долины и каньоны протягиваются вплоть до верхней части континентального шельфа, другие огра-

ничены районом континентального склона. Многие большие реки заканчиваются в верховьях подводных долин, происхождение которых, возможно, частично связано с развитием рек в некоторые ранние периоды, когда уровень моря был ниже и большая часть континентального шельфа была обнажена в виде береговой равнины. У других подводных равнин не наблюдается связи с какими-либо из современных или предшествовавших им речных систем, и их происхождение неясно. Возможно, они образованы подводными течениями, направленными вниз по континентальному склону. Такие течения могут образовываться от приливного действия, вызванного силами Кориолиса. Подводные каньоны, образованные каким-либо механизмом, в настоящее время являются путями сильных течений, которые периодически усиливаются мутьевыми потоками, текущий вниз до предела досягаемости. Гипотезы, касающиеся происхождения подводных долин и каньонов, обсуждались Ф. Х. Кюененом [Kuenen Ph. H., 1950, 1953] и очень подробно разобраны Ф. П. Шипардом и Р. Ф. Диллом [Shepard F. P. and Dill R. F., 1966].

Д. В. Шолл и Д. М. Хопкинс [Scholl D. W. and Hopkins D. M., 1968], описывая гигантские подводные каньоны Берингова моря, отмечают, что хотя их местоположение, простираение и основная форма определяются структурными факторами, тем не менее на эрозию каньонов оказывали воздействие сползавшие массы осадков, перемещение которых началось в позднечетвертичное время. Этому способствовало поступление речных осадков, приносимых крупной рекой. Они следующим образом описали эти каньоны: «Каньон Беринга — это самая длинная в мире подводная склоновая долина, а каньон Жемчуг, вероятно, самый широкий в мире. Они врезаны в северо-восточную континентальную окраину Берингова моря. Еще одна — каньон Прибылова врезана в эту окраину и также очень широка по сравнению с большинством подводных каньонов. Длина каньона Беринга достигает почти 400 км и имеет объем около 4300 км³. Объем каньона Жемчуг около 8500 км³ и по размерам он в 15—20 раз больше широких подводных каньонов (например, каньона Монтерей). Каньоны Жемчуг и Прибылова примечательны необычным разветвлением в головной их части, что является причиной образования глубоких удлинненных бассейнов внутри внешнего шельфа».

Особый интерес для геологов-нефтяников представляет присутствие грубого, хорошо отсортированного песка со следами ряби внутри подводных долин [Heezen B. C. and Hollister C. D., 1971; [Shepard F. P. and Marshall N. F., 1973]. Эти пески намыты течениями, которые проходили внутри этих долин. Для современных внебереговых каньонов Калифорнии Ф. П. Шипардом и Н. Ф. Маршаллом [Shepard F. P. and Marshall N. F.] зафиксированы течения со скоростью меньше 50 м/с, направления которых изменяются перемененно вверх и вниз по протяжению кань-

онов в периоды от 20 мин до 12 ч. Песок перемещается вниз по каньонам. Ф. П. Шипард и Н. Ф. Маршалл отмечают на стр. 257: «Мы пока не в состоянии определить точную причину донных течений в каньонах. Очевидно, что в наиболее глубоких участках приливы имеют важное влияние. Однако более короткие циклы с пиком около 4 ч не связаны с приливами. Эти более короткие циклы могут быть объяснены действием внутренних волн».

Природа и стратиграфическая последовательность осадков, заполняющих подводную долину или каньон, зависят от нескольких факторов, связанных с составом приносимого материала и с динамикой обстановки. К этим факторам, которые проявляются в различной степени, относятся величины объема приносимых осадков различной степени крупности, скорости седиментации, течений и снижения и подъема уровня моря. Все эти факторы обычно взаимосвязаны в периоды нормальной седиментации. Появление турбидитных (мутьевых) потоков приводит к тому, что и другие факторы начинают оказывать влияние на условия седиментации, характерные для этого своеобразного гидродинамического состояния. Нормальная седиментационная и стратиграфическая последовательность осадков, отложенных в подводной долине во время поднятия уровня моря, описана

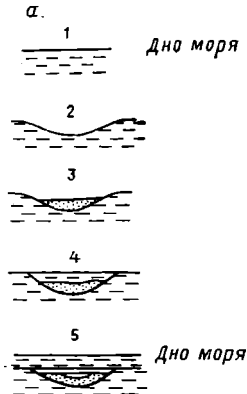
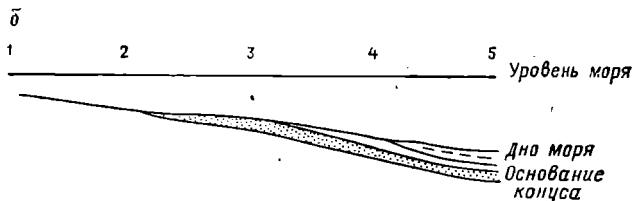


Рис. 133. Профильные разрезы подводных каньонов [Norgmark W. R. and Piper D. J., 1969].

a — поперечные профильные разрезы, показывающие развитие подводных врезанных и заполненных каньонов в период подъема уровня моря; *b* — продольный профильный разрез, составленный на основе показанных выше поперечных разрезов

1—5 — стадии развития каньона



В. Р. Нормарком и Д. Дж. Пайпером [Norgmark W. R. and Piper D. J., 1969] и иллюстрирована рис. 133. Эта последовательность осадков основана на предположении о том, что в общем

скорость течения, идущего вдоль дна подводной долины с увеличением глубины уменьшается и в конце концов снижается до нуля в пределах подводного конуса выноса в основании долины. В результате такой обстановки более грубозернистые осадки отлагаются вверх по течению, а более мелкозернистые — вниз по течению. При этом наблюдается также и латеральная изменчивость осадков, которые образуют песчаные клинья, выпадающие из разреза в определенных местах в нижней части долины. В вертикальном разрезе также наблюдается изменение гранулометрии осадков. Эта толща представляет собой трансгрессивную последовательность, в которой более грубые разности, такие как песок, отлагались в верхних частях долины и впоследствии были захоронены более тонкозернистыми осадками по мере подъема уровня моря. В результате клин базального песка мог окончательно и целиком быть захороненным под илами.

Возможность учета этих соображений при поисках нефти несомненна. Там, где такие клинья песка отлагаются, их начальный наклон обычно бывает увеличен региональным тектоническим наклоном вдоль бортов осадочного бассейна. В такой ситуации залегающие выше морские илы могут быть нефтематеринскими породами для углеводородов или их предшественников, которые имели возможность затем мигрировать в клин песка во время последующего уплотнения этого разреза. Например, третичные подводные долины, развитые в море у побережья Гипсленда в Австралии, можно рассматривать в качестве перспективных зон для формирования в них скоплений нефти и газа. Некоторые из этих долин, по-видимому, в основном выполнены аргиллитами олигоценового возраста. Однако нижняя часть слагающего их разреза во многих местах все еще не изучена бурением. Не исключено, что этот регион является высокоперспективным в нефтегазоносном отношении. Это может быть в том случае, если клинья песчаника местами присутствуют в основании этих подводных долин третичного возраста. Они могут содержать ловушки для нефти и газа в зонах их выклинивания вверх по восстанию пластов.

Электрокаротажная характеристика

Песчаные тела подводных долин и каньонов являются линейно вытянутыми. Однако обычно они разветвляются в зоне подводного конуса выноса в устьях этих каньонов. Некоторые тела формировались в течение долгих периодов нормальной седиментации, другие образуются за короткий период в результате действия мутьевых потоков. В первых пески могут быть хорошо отсортированными и чистыми, во вторых пески плохо отсортированы и обнаруживают постепенную смену зернистости от более грубой в нижней части разреза до более тонкой в верхней части разреза. В песчаных телах, отложенных в периоды нормальной

седиментации, может также наблюдаться постепенная смена зернистости. Местами и, вероятно, редко они могут переходить от более тонкозернистых разностей в нижней части разреза до более грубозернистых в верхней части разреза. Этот тип смены зернистости по разрезу представляет собой нормальную характеристику барьерных баров и других регрессивных вдольбереговых песчаных тел.

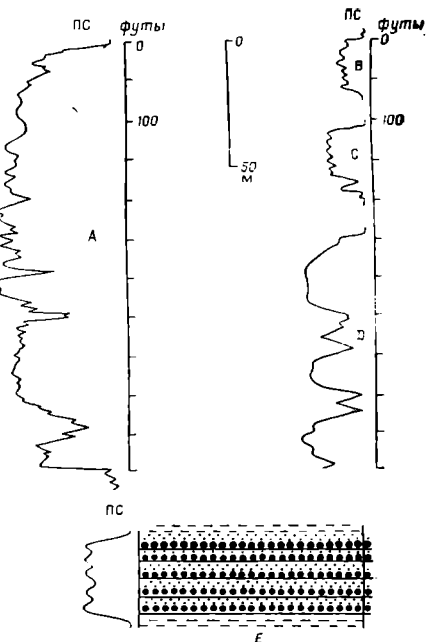
Обращенное изменение зернистости в песках подводных морских долин, вероятно, объясняется условиями, в которых эти пески были отложены течениями, в частности тем, что последние местами стекали вниз по долине с уменьшающейся скоростью. Это уменьшение скорости может быть результатом изменения топографии долины, в частности увеличения ее ширины в нижней части. Более грубые пески отлагаются первыми, сменяясь дальше вниз по долине более тонкозернистыми. Дополнительные порции песка, приносимые из более верхних частей подводной долины, приводят в результате к дальнейшему разрастанию песчаного тела вниз по долине. Этот рост отражен в развитии перехода зернистости от более грубой вверх по течению до более тонкой вниз по течению на поверхности отложения песчаного тела. По мере продолжения такого разрастания происходит изменение зернистости внутри вертикальной последовательности слоев песчаного тела, так же как и у регрессивных песков береговой линии, т. е. от более тонкозернистых разностей в нижней части разреза до более грубозернистых в верхней части разреза.

В целом разрез отложений подводной долины или конуса выноса в основании каньона представляет собой сложную последовательность песчаных тел, сформированных в разных гидродинамических условиях, которые переслаиваются с илами и алевритами. Здесь не наблюдается определенных закономерностей, на основе которых можно было бы прогнозировать характер изменения зернистости в других аналогичных толщах. В целом слой, в котором наблюдается гранулометрический ритм, является генетическим элементом в отложениях мутьевых потоков и бывает довольно маломощным. Его очень трудно отличить от других таких же слоев на электрокаротажной диаграмме. Серия слоев, в разрезе которых наблюдается гранулометрическая ритмичность, отображается на каротажной кривой собственного потенциала в виде зазубренного или довольно плавно очерченного цилиндра (рис. 134, *B*, *C* и *D*) с резкими верхним и нижним контактами, представляющими собой границы между такой толщей и илами, отложенными во время периодов нормальной седиментации. Зубцы отображают отдельные такие слои, но не отражают изменения зернистости внутри. Подобная пачка может достигать мощности 30 м и более. На рис. 134 пачки *B* и *C* представляют собой разрезы верхнеплиоценового песчаника Пайко на месторождении Сейтикой в Калифорнии, а пачкой *D* представлен

разрез нижнеплиоценового песчаника Репетто на нефтяном месторождении Вентура в Калифорнии. Толща *A* сложена верхнемиоценовым песчаником Стевенс на месторождении Роздейл также в Калифорнии. Все эти отложения нефтеносны. В толще *A* можно выделить несколько пачек. Некоторые из них считаются образованиями мутьевых потоков, другие представлены

Рис. 134. Электрокаротажные кривые собственного потенциала для отложений конуса выноса подводных каньонов (*A*) и отложений мутьевых потоков (*B*, *C* и *D*).

Генерализованный разрез (*E*) показывает кривые собственного потенциала песчаных слоев с градационной структурой, отложенных мутьевыми потоками в подводном каньоне; *A* — верхнемиоценовый песчаник Стевенс, месторождение Роздейл, Калифорния. Эта пачка нефтеносна и перекрывает песчаник Роздейл, который заполняет каньон; *B* и *C* — верхнеплиоценовые песчаники Пайко, месторождение Сейткой, Калифорния; *D* — нижнеплиоценовый песчаник Репетто, бассейн Вентура, Калифорния



слоями, которые были отложены в периоды нормальной седиментации, третьи могут быть песчаными телами, сформированными сильными течениями, но необязательно мутьевыми потоками.

Уплотнение

Влияние уплотнения на толщю осадочных пород, отложенную в подводной долине, зависит от объемных и пространственных соотношений слоев ила и песка в ее составе, а также от формы и петрофизических характеристик отдельных песчаных тел. Эти песчаные тела являются линейно вытянутыми и обычно разветвляются там, где они «разливаются» по поверхности подводного конуса выноса. Некоторые из них состоят из чистого песка, другие, отложенные мутьевыми потоками, сложены плохо отсортированными, глинистыми песками. Последние обычно состоят из отчетливо выраженных гранулометрических ритмичных слоев. Оба типа песчаных тел могут перекрываться или подстилаться

слоями из тонкозернистых осадков или сменять друг друга. Мощность толщи может достигать 1000 м и более.

В подводной долине влияние уплотнения на форму песчаного тела минимально в основании долины, поскольку долина эта врезана в консолидированные отложения и породы. Внутри верхней части осадочного заполнения долины песчаные тела, перекрывающие борта долины, будут наклонены. В пределах подводного конуса выноса, где пески отложены возле устья подводного каньона и илы отложены возле его окаймления с боков, эффект уплотнения приведет к более резкой выраженности клиновидной формы песчаного разреза. Отдельные песчаные тела внутри такого разреза обычно линзовидны.

Геолога-нефтяника прежде всего интересует влияние уплотнения на петрофизические свойства песчаных тел, отложенных мутьевыми потоками. Плохо отсортированные, полимиктовые и илистые пески не могут противостоять процессам уплотнения так хорошо, как кварцевые пески. С увеличением глубины захоронения и тектонических деформаций как статические, так и динамические напряжения вызывают разрушения песчаных зерен, сопровождаемые диагенетическими изменениями. Это приводит к прогрессивному уменьшению пористости и проницаемости породы. Эти черты будут рассмотрены особо на следующих страницах при описании нефтяного месторождения Вентура, где уплотнение определяется не только глубиной захоронения песчаных тел, но дополнительно процессами складко- и сбросообразования.

При отсутствии крупных структур песчаные тела мутьевых потоков не являются благоприятными объектами поисков. Поиски таких песчаных тел связаны с большими трудностями из-за отсутствия выдержанных по литологии толщ, которые могли бы заключить стратиграфические ловушки. Более того, там, где нефтеносная зона находится глубоко, проблема эксплуатации залежей может быть затруднена низкой нефтеотдачей коллектора, в связи с очень малой его проницаемостью. Кроме большой глубины залегания и низкой проницаемости коллектора, сам объем продуктивного песчаного тела может оказаться неблагоприятным для экономически рентабельного извлечения заключенных в нем углеводородов.

Древние песчаные тела

Осадки подводных долин и связанных с ними подводных конусов выноса отлагаются в долинах, расположенных на внешних краях континентальных шельфов, в каньонах, врезанных в континентальные склоны, и в пределах распространения конусов выноса, протягивающихся далее вплоть до нижней части континентального склона к абиссальным равнинам. Их обычно относят к флишевым фациям, для которых характерны мощные толщи

осадков, отложенных в глубоководных условиях в тектонически активных, быстро погружающихся седиментационных бассейнах. Флишевые фации, вероятно, содержат основную часть песчаных образований, отложенных турбидитными потоками, в том числе нефтеносные песчаные пласты в разрезе антиклинали Вентура — гигантского нефтяного месторождения Калифорнии. Большинство осадков подводных долин накапливались в относительно глубоких водах, но некоторые, включая хорошо отсортированные чистые пески, отложились в верхних частях подводных долин, в сравнительно мелких водах. Последние могут быть отнесены к внешним неритовым фациям, характеризующимся хорошей стратификацией осадков, залегающих в сравнительно стабильном или слабо прогибающемся седиментационном бассейне. Эта категория внешних неритовых обстановок осадконакопления включает седиментологические условия, которые существовали в период образования и заполнения олигоценых подводных долин, что оказало влияние на формирование скоплений газа на месторождении Марлин в бассейне Гипсленд в штате Виктория.

Крупные подводные конусы выноса в устьях главных подводных долин характеризуются рядом специфических эрозионных и аккумулятивных особенностей. В их пределах развиты более мелкие каньоны и долины, отложения, заполняющие долины, наносы и покровы осадков. В целом этот комплекс осадков образует продвигающийся клин, который утоняется в сторону от устья крупной подводной долины. Комплекс Бенгальского конуса выноса (рис. 135 и 136), лежащего между Андаманскими островами и восточным берегом Индии, является таким примером. Этот комплекс имеет длину 3000 км, ширину 1000 км и мощность, достигающую 12 км. Осадки, ~~слагающие это~~ гигантское накопление, принесены из дельты речной системы Ганга — Брахмапутры, расположенной в Бангладеш. Дж. Р. Карри и Д. Г. Мур [Curry J. R. and Moore D. G., 1971] отмечают, что этот конус выноса был сформирован мутьевыми потоками, несущими осадки дельты вдоль главного подводного каньона и отлагавшими их в разветвленной сети долин конуса выноса. На основе данных сейсмических профилей отраженных волн отложения, слагающие Бенгальский конус выноса, подразделены на три стратиграфические серии, отложенные в течение миоцена, плиоцена и четвертичного периода соответственно. Эти серии, которые отделяются отчетливыми несогласиями, сформированы, как полагают, в периоды усиления поднятий Гималайского орогенического пояса. Четвертичные отложения в большинстве своем не деформированы, тогда как более древние слои смяты в складки и нарушены сбросами, вероятно, под действием гравитационного сползания неконсолидированных осадков ниже континентального склона.

Поверхность Бенгальского конуса имеет черты, сходные с таковыми у некоторых речных систем. Дж. Р. Карри и Д. Г. Мур

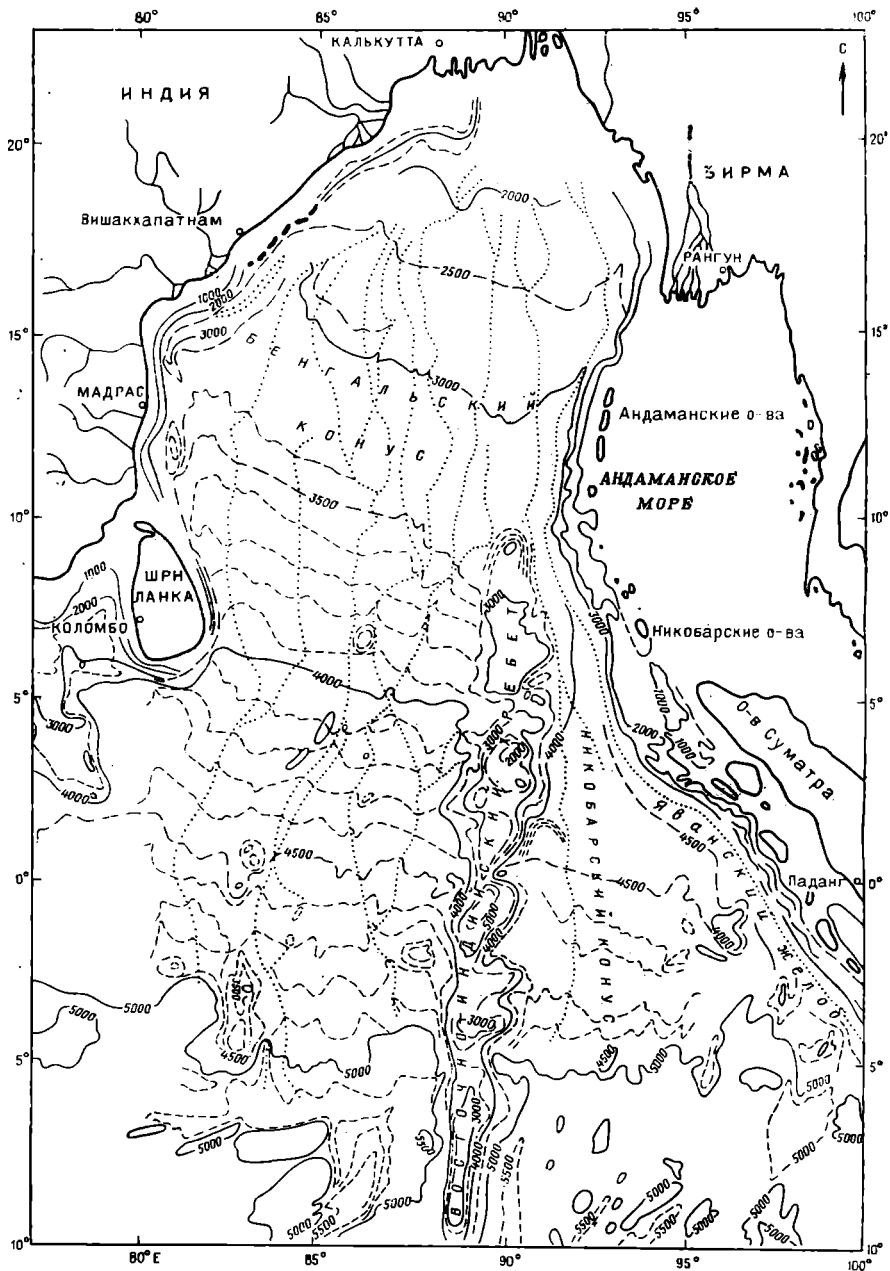


Рис. 135. Батиметрическая карта Бенгальского конуса, основанная на эхолотировании [Curry J. R. and Moore D. J., 1971]

[Curragh J. R. and Moore D. G., 1971, p. 566] пишут: «Детали мелкой поддонной структуры указывают на большое разнообразие типов каналов. В некоторых частях поверхности конусов выноса каналы частично или полностью заполнены. Повсеместно наблюдается разветвление каналов или их врезание более чем на 100 м в осадочное выполнение ранее существовавших более

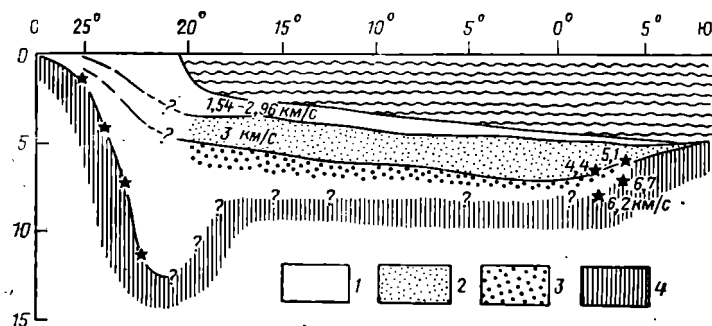


Рис. 136. Гипотетический продольный разрез с севера на юг комплекса Беггальского конуса [Curragh J. R. and Moore D. J., 1971]
1 — W-серия; 2 — V-серия; 3 — O-серия; 4 — акустический фундамент

глубоких долин. Наиболее характерной чертой, обнаруженной этими наблюдениями, является доказательство наличия отчетливо выраженной значительной миграции каналов, вызванной процессами врезания их в коренные породы и заполнением врезов осадками, т. е. теми же процессами, действие которых характерно для субаэральных потоков. Фактически для каналов мутьевых потоков характерны все те аккумулятивные и эрозионные черты, которые свойственны субаэральным потокам, в частности реакция на изменяющийся базис эрозии, нагрузку потока и объем выносимых осадков». Это сходство аккумулятивных и эрозионных черт указывает на то, что подводные конусы выноса, вероятно, содержат многочисленные потенциальные стратиграфические ловушки тех же типов, которые найдены в аллювиальных пачках, сформированных речными системами. Покинутые подводные каналы, часто врезанные в полого залегающие или слабо наклоненные слои, обычно заполняются осадками, которые впоследствии могут образовать барьер для мигрирующей нефти и газа внутри прилегающих срезанных слоев. Дж. Р. Карри и Д. Г. Мур [Curragh J. R. and Moog D. G., 1971] привели в своей работе один сейсмический профиль, на котором видны покинутые, заполненные осадками каналы глубиной 60 м и шириной 2 км. Они напоминают относимый к подводным образованиям канал Марлин, обрамляющий с востока месторождение Марлин в Виктории. Канал Марлин, однако, имеет глубину более 300 м.

Рассмотренный в трех измерениях комплекс Бенгальского конуса выноса включает седиментационный бассейн, в котором нижняя и, возможно, наиболее мощная серия лежит на породах фундамента и происхождение ее неясно, тогда как верхние серии в основании являются турбидитами, иначе говоря, отложениями мутовых потоков.

Каньон Йокум, Техас

Каньон Йокум (рис. 137) находится в Техасе, в округе Лавака. Он был сформирован как подводная долина в раннем эоцене и позднее был заполнен главным образом тонкозернистыми илстыми отложениями, которые в настоящее время представле-

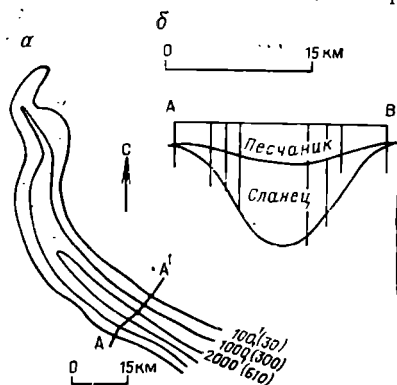


Рис. 137. Карта равных мощностей (а) и разрез (б) подводного каньона Йокум, округ Лавака, Техас [Halbouty M. T., 1969; Hoyt W. V. 1959]

ны глинистыми сланцами эоценовой группы Уилкоккс. Этот сланцевый разрез, мощность которого местами достигает 750 м, перекрывается слоями массивных песчаников той же группы. В этом каньоне, который имеет довольно постоянную ширину — 10—15 км и длину — более чем 100 км, была пробурена поисковая скважина глубиной 5490 м для оценки перспектив нефтегазоносности предполагаемого песчаного разреза, залегающего в его основании. М. Т. Хэлбути [Halbouty M. T., 1969, p. 27] замечает по поводу бурения этой скважины следующее: «Эта операция была основана на идее о том, что заполненный

глинистыми породами каньон Йокум, расположенный в западной части округа Лавака в Техасе, первоначально был выполнен песчаниками, слагающими нижнюю и среднюю части группы Уилкоккс, и глинистыми сланцами, похожими на те, которые залегают в бортовых частях каньона. Предполагалось, что первоначальное осадочное выполнение этой зоны, объем которого оценивался в 330 км³, было эродировано в пределах местоположения канала и переотложено вниз по падению от округа Лавака. Затем каньон был заполнен глинистыми породами, последние перекрыты типичными песчаными отложениями, залегающими в верхней части песчаника Уилкоккс. М. Т. Хэлбути также отмечает: «Бурение поисковой скважины, которое было попыткой узнать больше о картине распространения песчаников Уилкоккс по падению слоев в устье каньона Йокум, не было успешным, поскольку ожидаемых слоев песчаника не оказалось в точке бурения». М. Т. Хэлбути

указывает на возможность того, что отложения, эродированные в зоне каньона Йокум, могли быть переотложены дальше вниз по падению слоев от устья каньона, поэтому их не оказалось в месте заложения поисковой скважины.

Представление о возможности существования скопления углеводородов в приподнятой части песчаного клина в подводном каньоне весьма заманчиво, особенно там, где каньон расположен в пределах нефтегазоносной провинции. Однако обнаружение мест выклинивания такого песчаного тела в конечном итоге зависит от совершенствования аппаратуры, применяемой при геофизических методах.

Каньон Роздейл, Калифорния

Каньон Роздейл в Калифорнии (рис. 138) заполнен позднемiocеновым песчаником Роздейл. Этот песчаник представлен разностями от грубозернистых до тонкозернистых. Состав его изменяется от полевошпатового до полимиктового. Местами в песчанике наблюдается ритмическая слоистость. Ширина каньона Роздейл колеблется от 2 км и менее до 3 км. Прослежен он более чем на 10 км. Глубина его достигает, по крайней мере, 360 м. Микрофауна, встреченная в песчанике Роздейл, позволяет предположить, что отложение его происходило при глубине воды



Рис. 138. Карта равных мощностей (а) и разрез (б) позднемiocенового песчаника Роздейл, заполняющего подводный каньон, Грейт-Валли, возле Байкерсфилд, Калифорния [Martin B. D., 1963]

Сечение изопакит 400 футов (120 м)

более 300 м. Р. Мартин [Martin R., 1963, р. 455] пишет: «Из изучения характеристик каньона Роздейл и песчаников Роздейл, таких как характер осадков, возраст микрофауны, глубин вод и распространения фауны, с большей долей вероятности можно заключить, что эрозия, приведшая к образованию канала, и заполнение его происходили целиком в морской обстановке». Далее на стр. 445 он пишет: «Мутьевые или гравитационные потоки осадков считаются агентами врезания, однако весьма вероятно, что глинистый сланец Фрутвейл, в который врезан каньон, не был в достаточной мере уплотнен к этому времени. Поэтому в значительной степени была облегчена эрозионная деятельность».

Нефть и газ пока не обнаружены в песчанике Роздейл. Однако покрывающая его так называемая Нижняя Массивная пачка, сложенная песчаником Стевенс (см. рис. 134), является продуктивной на нефтяном месторождении Роздейл. Не исключено, что

эта пачка является фаціальным аналогом песчаников Роздейл в нижней части каньона. Б. Д. Мартин [Martin B. D., 1963, p. 455] связывает с песчаником Роздейл некоторые перспективы и пишет об этом следующее: «Мало или совсем не открыто нефти в отложениях каньона Роздейл, однако это не исключает возможность, что открытия могут быть сделаны в будущем. Захороненные и заполненные осадочными породами каньоны могут быть высокоперспективными в нефтегазовом отношении, однако поиски песчаных тел, содержащихся в их разрезе, связаны с большими трудностями».

Нефтяные и газовые месторождения

Отложения, выполняющие древние подводные долины, не часто являются объектами поисковых работ на нефть и газ. Между тем, современные подводные долины известны в настоящее время в пределах всех континентальных окраин. По-видимому, они пользовались широким развитием и в прошлом. Трудности, которые возникают при поисках стратиграфических ловушек в погребенных долинах до сих пор, препятствовали большому желанию составления соответствующей поисковой программы. За некоторыми исключениями, такими как упомянутая выше поисковая скважина, пробуренная в каньоне Йокум в Техасе, поиски в отложениях подводных долин и подводных конусов выноса были ограничены такими площадями, как нефтяное месторождение Вентура в Калифорнии, где смятие слоев привело к образованию антиклинальной складки. Однако, как отмечает Х. Д. Хедберг [Hedberg H. D., 1970, p. 3] «... для геолога-нефтяника важно, что в течение большого периода геологического времени континентальный край был гигантским сосудом, в котором была приготовлена большая часть мировой нефти и из которого на сегодня получена большая часть мировой добычи нефти». Об условиях осадконакопления и перспективах нефтегазовости подводных конусов выноса в пределах континентального подножья К. О. Эмери и соавторы [Emeru K. O. et al., 1970, p. 103] пишут: «Крупномасштабные движения приводят к перемещению мощных толщ осадков с континентального склона к верхней части континентального подножья. Эти перемещаемые отложения обычно тонкозернисты. Когда накопление таких осадков происходит в виде единой массы и мощность их достигает значительных величин, в них может сохраниться большая часть содержащегося органического вещества, поскольку оно окажется предохраненным от покрывающих вод, богатых кислородом. Материалы непрерывного сейсмопрофилирования методом отраженных волн и данные изучения ядра позволяют предположить, что песчаные турбидиты присутствуют в пределах всего континентального подножья и некоторые из них переслаиваются с перемещенными с континентального склона глинами и илами».

В таких условиях можно ожидать, что перемещенные сюда илы и глины могут быть здесь нефтематеринскими породами, а песчаные турбидиты — пластами-коллекторами. Сейсмические данные также свидетельствуют о наличии здесь многих стратиграфических и структурных ловушек». Хорошим примером является нефтяное месторождение Вентура — одно из крупных месторождений мира. Другие скопления нефти и газа в отложениях подводных долин и подводных конусов выноса могут быть обнаружены в будущем далеко в море в пределах верхних склонов континентального подножья. Как показано Р. Х. Беком и П. Ленеом [Beck R. H. and Lehner P., 1974] достижения в области технологии глубоководного бурения позволяют приступить к освоению этих интересных в геологическом отношении регионов. Окажутся поиски скоплений углеводородов в этих удаленных от берега морских регионах экономически рентабельными — это вопрос будущего.

Нефтяные и газовые месторождения Брентвуд, Датч-Слау и Уэст-Торнтон, Калифорния

На месторождениях Брентвуд, Датч-Слау и Уэст-Торнтон в долине Сакраменто в Калифорнии добыча нефти и газа осуществляется из слоев массивного песчаника в разрезе палеоценовой свиты Мартинес. Эти слои прорезаны каньоном Меганос (рис. 139). Последний эродировал палеоценовые песчаные слои и заполнен главным образом палеоценовыми глинистыми сланцами, которые образуют покрывку для скоплений нефти и газа в слоях песчаников. Формирование скоплений нефти и газа обусловлено структурно-стратиграфическими условиями (рис. 140). Нефтегазоносные слои сначала были смяты в складки и наклонены, а затем прорезаны каньоном Меганос, который был впоследствии заполнен непроницаемыми отложениями.

А. Б. Дикас и Дж. Л. Пейни [Dickas A. B. and Payne J. L., 1967] считают, что 95% осадков, заполняющих каньон Меганос, приходится на долю сланцев, местами глауконитовых, которые переходят в илистые слои в нижней части разреза. Отдельные тонкие базальные слои песчаника присутствуют в северной верхней части канала, но они оказались непродуктивными. Полагают, что эти осадки, заполняющие долину, были отложены в подводной долине при глубине воды, соответствующей обстановкам от неритовой до верхней батинальной. Каньон Меганос, который имеет длину более чем 80 км и ширину 3—10 км, заполнен 600-метровой толщей осадков. Размеры этого каньона сравнимы с таковыми у р. Конго, подводный каньон которой, по данным Б. К. Хизена с соавторами [Heezen B. C. et al., 1964], имеет длину 320 км, ширину до 8 км и глубину более 900 м ниже бров-

ки каньона. Ф. П. Шипард и К. О. Эмери [Shepard F. P. and Emery K. O., 1973], кроме того, характеризуют подводный каньон р. Конго как V-образный и достигающий глубины 1400 м от бровки бортов до основания.

Хотя на месторождениях Датч-Слау и Уэст-Торнтон из отложений, заполняющих подводную долину, и не добывают нефть

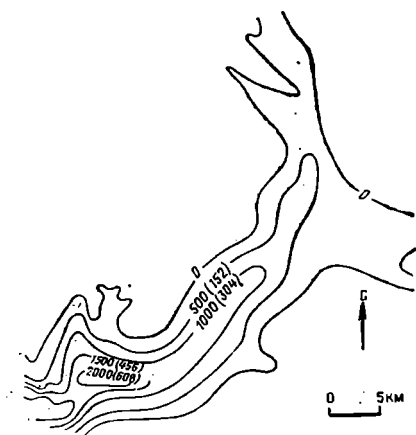
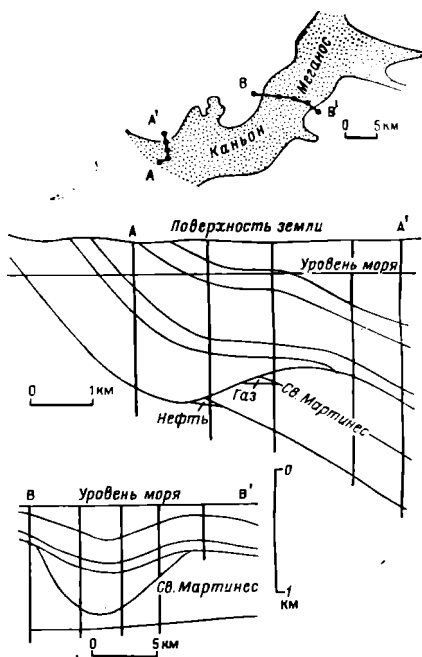


Рис. 139. Карта равных мощностей заполнения палеоценового подводного каньона Меганос в долине Сакраменто, Калифорния [Dickas A. B. and Payne J. L., 1967]

Сечение изопахит 500 футов (150 м)

Рис. 140. Структурные разрезы А—А' и В—В' вкост палеоценового каньона Меганос, долина Сакраменто, Калифорния, показывающий скопления нефти и газа в палеоценовых слоях свиты Мартинес, месторождение Брентвуд [Dickas A. B. and Payne J. L., 1967]



и газ, их размещение зависит от бокового экранирования смятых в складки и взброшенных нефтегазоносных песчаников непроницаемыми сланцами, заполняющими каньон Меганос. Стратиграфические и структурные условия нефтегазоносности на этих месторождениях очень похожи на те, которые характерны для месторождения Марлин в бассейне Гипсленд в Виктории. Два месторождения — Брентвуд и Датч-Слау, которые считаются крупными, расположены в юго-западной части этого канала (они показаны на рис. 139). Месторождение Уэст-Торнтон приурочено к его северной части. Общие извлекаемые запасы газа месторождения Датч-Слау составляют более 8,5 млрд. м³.

Газовое месторождение Марлин, Виктория

На месторождении Марлин (рис. 141, 142), расположенном в бассейне Гипсленд в штате Виктория, газ и некоторое количество легкой нефти получают из пяти песчаных пачек в разрезе группы Латроб (палеоцен — эоцен). Эти пачки наклонены, сре-

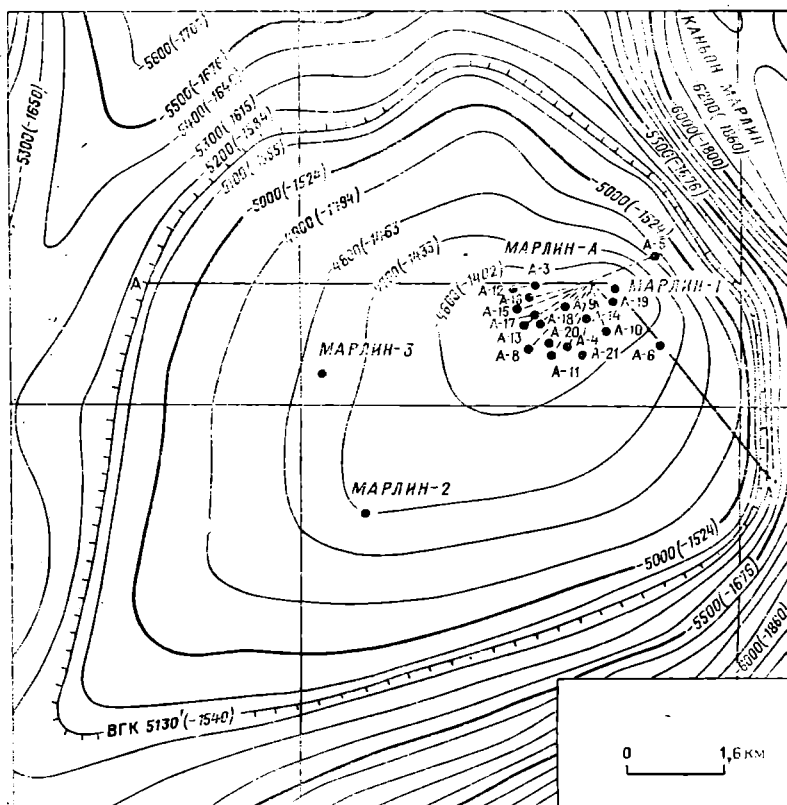


Рис. 141. Структурная карта, показывающая конфигурацию эрозионной поверхности группы Латроб ниже уровня моря. Газовое месторождение Марлин, Виктория.

Разрез А—А' направлен к погребенному подводному каньону Марлин [Griffith V. R. and Hodgson E. A., 1971; modified by Beddoes L. R., 1973]
Сечение изогипс 100 футов (30 м)

заны эрозионной поверхностью и ограничены с востока подводными каналами, заполненными аргиллитами, слагающими свиту Лейкс-Энтранс (олигоцен — миоцен). Эти аргиллиты являются эффективной крышкой. Газоносные песчаники залегают в интервале разреза, мощность которого составляет приблизительно 180 м. Отдельные песчаные тела имеют мощность до 30 м, а

суммарная эффективная мощность для пяти пачек превышает 100 м. Песчаники светло-серые, хрупкие, кварцевые до полимиктовых, преимущественно мелкозернистые, слюдястые и местами глинистые с углистыми пластинками. Пористость и проницаемость их составляют 15—30% и до 1000 мД соответственно. Пять песчаных пачек разделены углистыми аргиллитами, содержащими пласты углей.

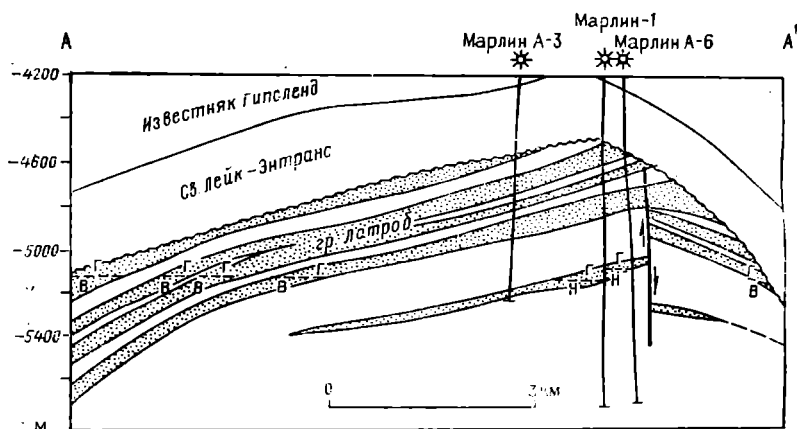


Рис. 142. Профильный разрез А—А' газового месторождения Марлин, Виктория, показывающий осложненный сбросом западный борт каньона Марлин, изображенного на рис. 141 [Griffith V. R. and Hodgson E. A., 1971]

Эти газоносные песчаники были отложены в обстановках от паралической до аллювиальной, однако детальная информация, касающаяся палеогеоморфологических условий их образования, еще не публиковалась. Б. Р. Гриффитс и Е. А. Ходсон [Griffith V. R. and Hodgson E. A., 1971] придерживаются мнения, что эти отложения являются образованиями разветвляющихся потоков. Группа Латроб включает клинья отложений, мощность которых увеличивается до многих сотен метров в сторону моря, которые сформировались как дельтовый комплекс. Мощность отдельных угольных слоев, развитых в районе месторождения Марлин, в 85 км от берега, достигает 6 м. На суше она увеличивается и достигает 90 м. На морских площадях стратиграфическое расчленение отложений, слагающих группу Латроб, производится по комплексам спор и пыльцы. В конце отложения осадков, слагающих группу Латроб, произошла морская трансгрессия, которая началась уже в позднем эоцене. Она привела к повсеместному отложению толщи аргиллитов мощностью до 300 м и пачки глауконитовых очень тонкозернистых песчаников мощностью до 30 м. Эти слои включены в группу Латроб, хотя они были отложены в течение начальной стадии региональной морской трансгрессии.

Позже были образованы перекрывающие отложения группы Лейкс-Энтранс.

Месторождение характеризуется активным водонапорным режимом. Оно содержит залежь в структурно-стратиграфической ловушке. Погружающаяся на юго-запад складка была эродирована в течение позднего эоцена, в результате чего было образовано складчато-эрозионное сооружение (сводовый холм), ограниченное на востоке долиной (впоследствии подводный каньон). Максимальная амплитуда складки приблизительно составляет 275 м. Извлекаемые запасы газа оцениваются в 98 млрд. м³ и конденсата — 18,6 млн. т. Результаты подсчета извлекаемых запасов легкой нефти не были опубликованы. Особый интерес имеет факт выполнения подводного каньона плом, что является главным условием формирования экрана для газа вверх по восстанию наклоненных и эродированных слоев песчанников группы Латроб. Похожие структурно-стратиграфические условия имеются на месторождении Брентвуд в Калифорнии (см. рис. 140).

Газонефтяное месторождение Вентура, Калифорния

На месторождении Вентура в Калифорнии продуктивны верхнеплиоценовые песчаники Пайко и нижеплиоценовые песчаники Репетто. Обе пачки образуют непрерывную толщу мощностью 3000 м и более, состоящую из нефтеносных песчаников, песчаных алевролитов и богатых органическим веществом алевритистых аргиллитов. Толща включает отложения мутовых потоков (турбидитных течений) и нормальных морских глубоководных отложений, которые образуют подводные конусы выноса в тектонически активных бассейнах [Natland M. L. and Kuenen Ph. H., 1951]. В результате совпадения площади наибольшего отложения песков и площади роста антиклинали Вентура здесь имеется мощный нефтегазоносный разрез. В этом разрезе выделяется несколько нефтеносных зон, залегающих на глубинах от 300 до 2700 м. Из самой верхней зоны добывают газ и конденсат (плотность 0,755 г/см³), из залегающих ниже зон получают легкую нефть (плотность 0,816 г/см³). Из самых нижних зон осуществляется добыча тяжелой нефти (плотность 0,876 г/см³). Эти скопления углеводородов приурочены к нескольким отдельным ловушкам в недрах антиклинали, нарушенной сбросами и взбросами. Они имеют разные пластовые давления и свойства нефти [Lorsen A. I., 1967]. Другие скопления, содержащиеся в породах и структурах подобного генезиса, известны в отложениях нижнего плиоцена в бассейне Лос-Анджелес и в разрезе верхнего миоцена в бассейне Сан-Хоакин, в Калифорнии.

В 2700-метровом нефтеносном разрезе месторождения Вентура проницаемость песчаников прогрессивно уменьшается с глубиной, изменяясь от 60—250 мД в верхней части до 5 мД и ме-

нее в нижней. Проницаемость нефтеносных песчаников в самой нижней зоне обычно составляет всего 1 мД. Это позволяет предположить, что проницаемость этой пачки была резко уменьшена в результате действия каких-то процессов в несколько сотен раз по сравнению с проницаемостью, существовавшей в период ее отложения. Такое резкое сокращение было прямым результатом раздавливания и уплотнения зерен в результате суммарного действия статического и динамического давлений, вызванных глубиной погружения пород и напряжениями, обусловленными сбросо- и складкообразованиями. Несомненно, оно также было связано с заполнением порового пространства цементирующим материалом вследствие эпигенетических изменений породы. Нет никаких доказательств [Natland M. L. and Kuenen Ph. H., 1951], что существовало различие в условиях седиментации отложений, слагающих верхнюю и нижнюю части разреза, и что этим различием обусловлена их неодинаковая проницаемость. Площадь месторождения Вентура была местом накопления отложений мутьевых потоков в течение почти всего плиоцена, и такие фации характерны для всего нефтегазоносного разреза.

Ф. В. Хертель [Hertel F. W., 1929] подсчитал, что начальные извлекаемые запасы нефти месторождения Вентура составляют более 34 млн. т и газа—17 млрд. м³. С тех пор здесь были обнаружены дополнительные продуктивные зоны. М. Т. Хэлбути [Halbouty M. T., 1968] отметил, что к началу 1967 г. накопленная добыча нефти вместе с подсчитанными остаточными извлекаемыми запасами на месторождении Вентура составляли приблизительно 140 млн. т. Он также показал, что к началу 1966 г. накопленная добыча газа составила 52 млрд. м³. Интересно отметить, что недавние оценки извлекаемых запасов этого месторождения, открытого в 1916 г., показали, что запасы его примерно в три раза больше, чем они оценивались ранее.

ПЕСЧАНЫЕ ТЕЛА ПРИЛИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Песчаные и алевритовые валы приливных течений известны во многих частях мира. Они развиты как лентообразные песчаные тела, располагающиеся параллельно направлению приливных течений. Эти песчаные тела обычно находятся на глубинах в пределах 10—100 м в тех частях континентального шельфа, которые подвержены влиянию сильных приливных течений, скорость которых достигает 5 км/ч. Из тех примеров, которые приведены в литературе, здесь рассматриваются песчаные тела Северного моря [Pettijohn F. J., Potter P. E. and Siever R., 1972; Blatt H., Muddleton G. and Murray R., 1972; Houbolt J. J. H. C. 1968; Stride A. H., 1963], Западно-Корейского залива [Off T., 1963] и Тайваньского пролива [Boggs., 1974]. Размеры этих песчаных валов довольно близки. В Северном море (рис. 143 и 144) они имеют мощность до 50 м, длину — до 70 км, но обычно длина их менее 50 км, а ширина 3—5 км. В Западно-Корейском заливе (рис. 145) мощность их 10—35 м, длина 10—60 км, ширина 2—3 км. В Тайваньском проливе мощность песчаных валов 5—30 м, ширина до 3,5 км. Д. Дж. Р. Свифт и Р. М. Мак Маллин [Swift D. J. P. and McMullen R. M., 1968] также описывают приливные песчаные тела в заливе Фанди, в Новой Шотландии. Мощность этих тел достигает 30 м, длина 30 км.

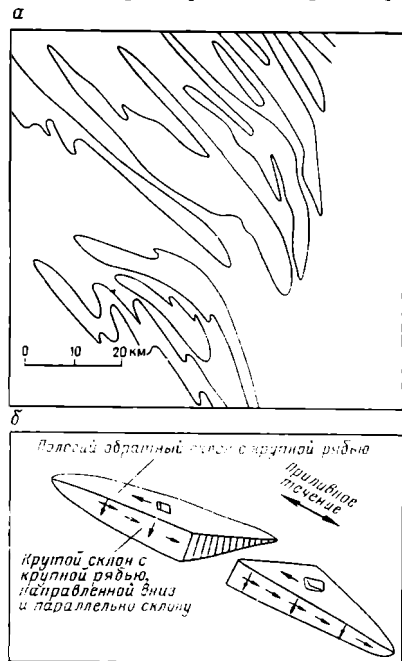


Рис. 143. Схема (а) и обобщенный профильный разрез (б) песчаных гряд в южной бухте Северного моря [Pettijohn F. J., Potter P. E. and Siever R., 1972; Houbolt J. J. H. C., 1968]

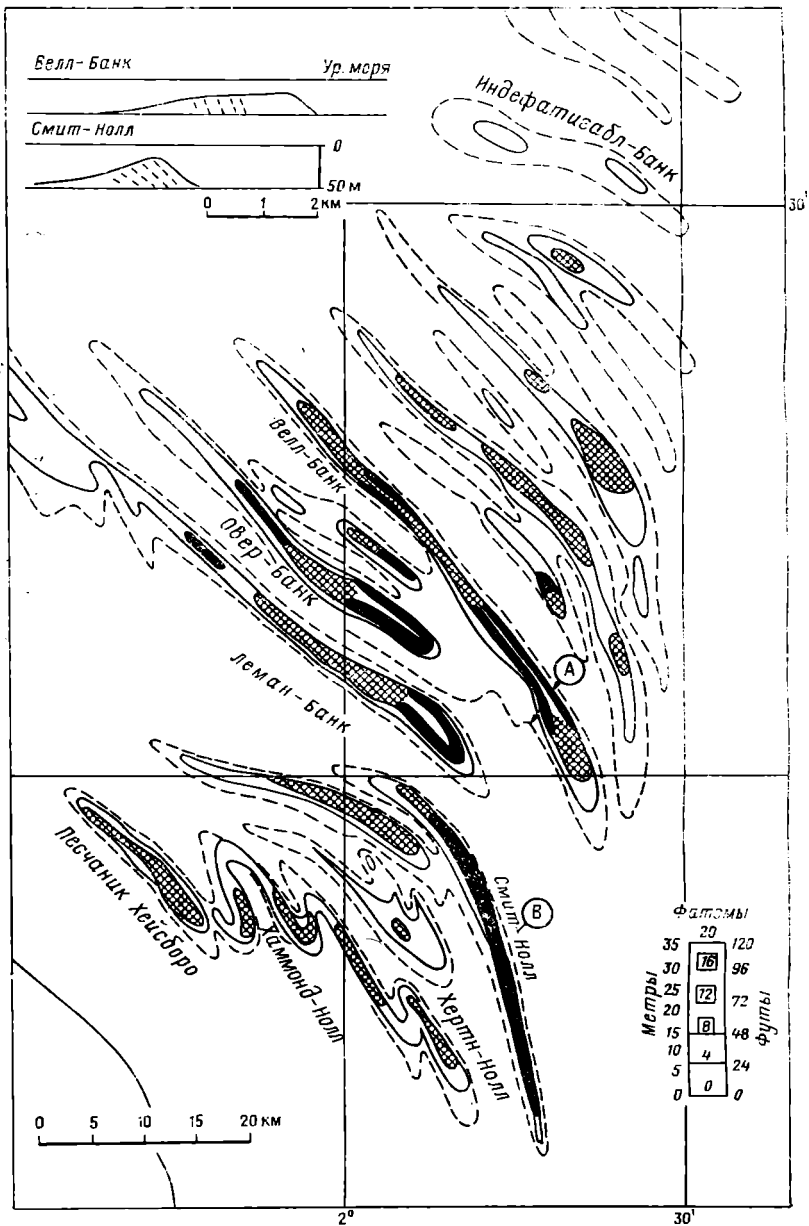


Рис. 144. Карта равных мощностей песчаных гряд, сформированных приливными течениями в южной бухте Северного моря [Blatt H., Middleton G. and Murray R., 1972; Houbolt J. J. H. C., 1968]

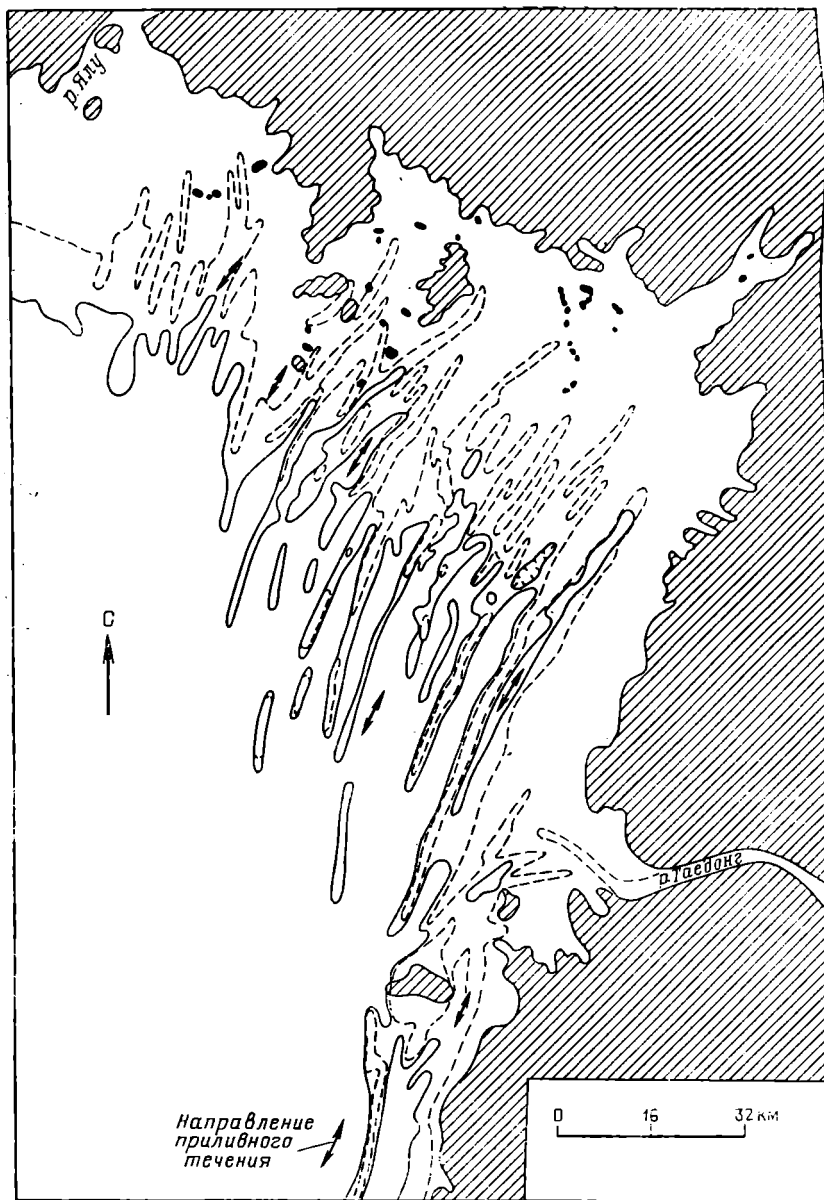


Рис. 145. Приливные гряды песка в Западно-Корейском заливе. Направления приливных течений показаны стрелками [Off T., 1963]
Изолинии в фатмах

В Северном море приливные валы были подробно изучены Дж. Дж. Х. Г. Хуболтом [Houbolt J. J. H. G., 1968]. На поверхности этих асимметричных валов имеется крупная рябь течений, ориентированная диагонально по отношению к простиранию валов. Ее считают результатом действия приливных волн, несущих песок. Хотя очень мало известно о внутренней структуре приливных валов, движение волн, несущих песок через поверхность, отражается в их внутренней структуре косою слоистостью. Природа этой косою слоистости окончательно не выяснена. Эти североморские песчаные валы, сформированные на плоском морском дне открытого шельфа, по-видимому, имеют плоскую подошву и выпуклую кровлю. Такая интерпретация сделана на основе спаркеровой съемки, которая позволила установить форму валов и высказать предположение, что песчаные тела мигрируют по морскому дну как гигантская зыбь.

Песок, который не поступает прямо из какой-нибудь современной реки, а приносится непосредственно из самого морского дна, является мелкозернистым и очень хорошо отсортированным. Изучение колонок, отобранных из песчаных валов, показало, что в них не наблюдается какой-либо гранулометрической дифференциации по разрезу.

Измерениями установлено, что у песков, слагающих песчаные валы, преобладает ориентировка зерен — 45° по отношению к простиранию песчаных валов. Это не является необычным ввиду диагонального движения ряби течения через направляющие края песчаных валов. В общем непараллельность в ориентировке зерен песка по отношению к простиранию песчаных валов свидетельствует о том, что данными измерения средней ориентировки зерен в песчаниках следует пользоваться с осторожностью при интерпретации простираний песчаных тел.

Т. Офф [Off T., 1963] описывает валы приливных течений (см. рис. 145) в Западно-Корейском заливе. Эти валы развиты на плоском и мелководном континентальном шельфе, в местах, где глубина воды на расстоянии до 65 км от берега не превышает 40 м. Валы образуют дугообразные очертания, протягиваясь параллельно направлению потока приливных течений. Особенно интересен пример, показывающий упорядоченное расположение валов как параллельно, так и перпендикулярно к береговой линии. Из других примеров, приведенных Т. Оффом, видно, что ориентировка приливных валов в проливах и эстуариях является параллельной относительно берега. Эти геоморфологические соотношения могут помочь при интерпретации древних песчаных тел, таких как прибрежные бары и барьерные острова, которые также простираются параллельно береговой линии. Т. Офф [Off T., 1963, p. 327] описывает приливные валы в Западно-Корейском заливе следующим образом: «Здесь валы расположены так, что в среднем между их гребнями рас-

стояние 5 км. Высота их в среднем составляет 22 м. Они ориентированы приблизительно параллельно западному побережью Кореи и перпендикулярно к северному берегу Желтого моря».

Относительно песчаных валов в Тайваньском проливе С. Боггс [Boggs S., 1974, p. 253] пишет: «На довольно широкое развитие крупных асимметричных песчаных волн в Тайваньском проливе указывает активный перенос донных осадков. Характер переноса осадков, хотя еще и не точно установлен, представляется довольно сложным: происходит перемещение в направлении моря, перенос в сторону суши и вдольбереговая транспортировка в разных частях пролива». Песчаные волны развиты в местах распространения песчаных донных осадков, которые Х. Ниино и К. О. Эмери [Niino H. and Emery K. O., 1961] рассматривают как реликт плейстоценовых отложений. Это весьма вероятно, однако эти отложения были сильно переработаны с плейстоценового времени донными течениями, которые, по-видимому, заметно изменили первоначальные осадочные текстуры и концентрации содержащихся в осадках минералов, а также в некоторых местах и рельеф морского дна».

Электрокаротажная характеристика

В Северном море пески, слагающие валы, образованные приливными течениями, обычно тонкозернистые и очень хорошо отсортированные. Источником их являются более древние слои, отложенные в море или на поверхности, впоследствии затопленной морем. Некоторые валы состоят из илистого песка или илистого алевролита. Поскольку песчаные валы состоят из переработанных отложений довольно однородных по размерам слагающих их зерен, они имеют однородную структуру и не обнаруживают значительного изменения в своей гранулометрии. Как показано Дж. Дж. Х. К. Хуболтом [Houbolt J. J. H. C., 1968], при изучении этих валов с помощью сперкер-метода в некоторых из них были зафиксированы отраженные волны. Это, видимо, связано с наличием в слагающих их осадках косой слоистости или наклонным наслоением, указывающих на незначительные изменения текстуры и состава. Другие же валы не дают отражений и, по-видимому, их внутреннее строение однородно. В любом случае можно ожидать, что электрокаротажная характеристика кривой собственного потенциала песчаных тел приливных течений не будет характеризоваться колоколообразной или рюмкообразной формой кривой, а будет иметь блоковую форму, похожую на ту, которая свойственна некоторым песчаным телам рукавов дельты.

Уплотнение

В некоторые этапы геологической истории песчаные валы приливных течений, если они были расположены ниже уровня моря, захоронялись в осадочной толще. Оказавшись, таким образом, захороненными в осадочном разрезе, они подвергались по мере увеличения глубины погружения воздействию уплотнения. Последнее должно было проявиться в проседании песчаного тела и облекании его покрывающими более тонкозернистыми осадками. Проседание могло быть минимальным. Оно зависит от степени уплотнения и мощности залегающей ниже толщи осадков. Для североморских песчаных валов приливных течений разрез отложений, залегающих на консолидированных породах, сравнительно маломощный. Плоское морское дно между песчаными валами покрыто гравием, состоящим из кремневой гальки и скелетных фрагментов, который залегает на слое отвердевшей голубовато-серой глины. Там, где песчаные валы приливных течений сформированы в обстановке морской трансгрессии, явление уплотнения в результате проседания песчаного тела не должно сильно изменить его первоначальную форму. Следовательно, особенности его формы должны сохраниться, хотя в некоторой степени она и будет изменена в тех слоях, в которых песчаное тело захоронено. Реконструкция первоначальной формы таких песчаных тел может быть лучше всего выполнена с помощью разрезов и карт, составленных с использованием маркирующего горизонта, залегающего ниже подошвы песчаного тела.

Древние песчаные тела

Приводилось много примеров песчаных тел, отложенных как песчаные бары на мелководных морских шельфах, подвергавшихся воздействию волн и океанских течений. Одни из этих древних песков были перенесены в более глубокие участки морского дна, сложенные глинами и алевролитами. Другие аккумуляровались на карбонатном шельфе. Третьи, по-видимому, могли быть перемещены в те места, где господствующими являются условия образования как карбонатных, так и некарбонатных отложений. Р. К. Селли [Selly R. C., 1967] описал миоценовый разрез в Ливии, в котором можно было проследить переход флювиальных и паралических песков, отложенных в дельтовой обстановке, в слои известняка, накопление которых происходило на мелководном морском карбонатном шельфе. Описание тел песчаников всегда страдает неполнотой, и интерпретации условий их образования могут быть не всегда однозначными. Ф. Дж. Петтиджон, П. Е. Поттер и Р. Сивер [Pettijohn F. J., Potter P. E. and Siever R. 1972, p.493] пишут: «В отсутствие подробных, хороших описаний песчаных тел древних морских шельфов, мы попытались суммировать и синтезировать их свойства

из немногих и рассеянных данных (table. 11—6). Многое придется еще изучить». Далее они описали некоторые общие характеристики древних морских шельфовых песков: «Пескам многих древних морских шельфов свойственна минералогическая «зрелость», особенно на платформах, вероятно, вследствие того, что они прошли стадию формирования берегового комплекса. Обломки глинистых пород и нестабильные минералы, как правило, не очень широко распространены в их составе. В них обычно присутствуют глауконит, карбонатные скелетные обломки, морская фауна и коллофан. Реликтовая фауна и аномально грубые зерна являются обычными в верхних слоях мощностью несколько сантиметров в некоторых шельфовых песках. Местами могут быть встречены гравий и конгломерат. Цементирующими агентами в основном являются химические. Однако в них может содержаться в значительном количестве и обломочный материал, близкий к глинам или глинистым сланцам. Степень отсортированности материала в основном изменяется от хорошей до достаточно высокой. Окатанность зерен выше средней. Изменчивость структурных параметров между отдельными изученными образцами обычно незначительна».

У современных песчаных тел приливных течений, вероятно, имеются ископаемые аналоги, однако достоверность ни одного из них не была в полной мере установлена. Бар Илейтрит в разрезе нижнепермского песчаника Уайт-Рим в штате Юта [Baars D. L. and Seager W. R., 1970] имеет морфологическое сходство с современными песчаными телами приливных течений. На песчаные тела приливных течений также похожи несколько дугообразных песчаных тел в отложениях нижнемеловой свиты Вайкинг, в Альберте и Саскачеване [Evans W. E., 1970], хотя другие песчаные тела в отложениях Вайкинг интерпретированы как пески береговой линии или прибрежные пески, отложенные как пляжи и внебереговые бары. Т. Офф [Off T., 1963] высказал предположение, что приливные течения играли важную роль в накоплении верхнемиссисипского песчаника Палестайн, который залегает стратиграфически выше руслообразующего песчаника Бетел (см. рис. 27), а также в накоплении верхнемелового песчаника Кардайум в Альберте. В отношении песчаника Палестайн он пишет на стр. 335: «В процессе недавнего изучения песков Честер в Иллинойском бассейне [Potter P. E. et al., 1958] было обращено внимание на то, что залегание песчаных тел ориентировано параллельно направлению течений, определяемому по косой слоистости, и перпендикулярно к региональному простиранию. Особенности расположения песчаных тел (как показано, например, на рис. 13 у П. Е. Поттера), уникальные размеры мощности слагающих их пород и расстояние этих тел друг от друга с наличием косой слоистости и представления об их морском генезисе — высокие аргументы в пользу того, что они являются валами приливных течений». В интерпретации

П. Е. Поттера и др. [Potter P. E. et al., 1958] песчаник Палеостайн считается русловым образованием. Песчаные тела в отложениях свиты Кардайум, по мнению Р. Дж. Бервена и других [Berven R. J. et al., 1966], являются образованиями внебереговых баров.

Бар Илейтрит (рис. 146) сложен мелкозернистыми хорошо отсортированными кварцевыми песчаниками, которые довольно

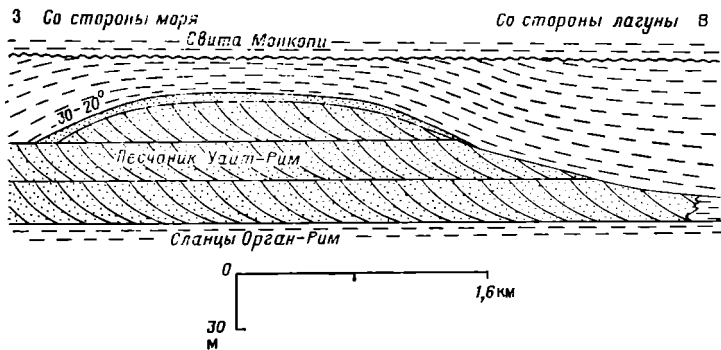


Рис. 146. Обобщенный профильный разрез бара Илейтрит в нижнепермском песчанике Уайт-Рим, юго-восточная Юта [Baars D. L. and Seager W. R., 1970]

равномерно пропитаны тяжелой асфальтоподобной нефтью, зафиксированной в виде выходов битума из этой разрушенной стратиграфической ловушки. Песчаное тело, которое протягивается в виде слегка изогнутой дуги, достигает мощности 60 м, ширины 2—3 м и длины 16 м. Внутри песчаника наблюдаются крупные интервалы резко выраженной косои слоистости с углами наклона 20—25° на юго-восток и длинные направленные по касательной базальные контакты.

Происхождение бара Илейтрит не совсем ясно. Ряд исследователей считают, что хотя песчаник Уайт-Рим был частично отложен в мелком море, но в основном он эолового происхождения. Основным сторонником такой интерпретации является А. А. Бейкер [Baker A. A., 1946]. Д. Л. Баарс и В. Р. Сигер [Baars D. L. and Seager W. R., 1970] отвергают эту интерпретацию для бара Илейтрит, который они описывают как выдержанное в пространстве песчаное сооружение, покрывающее сланец Орган-Рок. Они пишут на стр. 716: «По-видимому, песчаник Уайт-Рим мелководного происхождения. Лучшим доказательством служит его форма и географическая протяженность составляющих его песчаных баров, природа косои слоистости и волноприбойные знаки, региональное соотношение свиты, присутствие проблематических водорослей и отсутствие следов животных». Бар Илейтрит согласно перекрывается сланцевыми слоями нижней перми, на которых, в свою очередь, несогласно залегают триасовые отложения свиты Монкопи. Не было вы-

двинуто никаких доказательств, которые позволили бы предположить, что бар Илейтрит может быть (кроме самой верхней части, которая была переработана) эрозионной формой, образованной эродирующими течениями. На самом деле приводимые Д. Л. Баарсом и В. Р. Сигером доказательства позволяют высказать сомнение в корректности их концепций. Касаюсь конфигурации бара Илейтрит, они пишут на стр. 714: «Топография его, очевидно, седиментационного, а не эрозионного происхождения. Это видно по постепенному изменению длины волн волноприбойных знаков вдоль плоскостей непрерывного наслоения от 5 см на вершине до 15 см у его окончания, что можно объяснить увеличением глубины моря у окончания бара. Из такого доказательства следует, что бар Илейтрит был образован там, где глубина воды достигала по крайней мере 15 м вдоль его морского края». Дальнейшие исследования, возможно, позволят выяснить причину этих различий в интерпретации и определить происхождение бара Илейтрит. По внешнему и внутреннему строению, а также по своим размерам и условиям образования это песчаное тело сходно с песчаными телами Северного моря, описанными Дж. Дж. Х. К. Хуболтом [Houbolt J. J. H. С., 1968].

На перспективность песчаных валов приливных течений как коллекторов для нефти и газа было указано Дж. Дж. Х. К. Хуболтом [Houbolt J. J. H. С., 1968, р. 264] при рассмотрении им морских трансгрессивных условий, в которых могли быть образованы широкие, мощные и протяженные песчаные тела. Он писал: «Эти песчаные тела должны состоять из чистого, хорошо отсортированного песка, в вертикальном разрезе которого не наблюдается изменений в размере слагающих его зерен. Они должны быть перекрыты глинистыми морскими отложениями, если трансгрессия продолжалась. Следовательно, они могут быть хорошими коллекторами для нефти». Для иллюстрации своей точки зрения он ссылается на Уэлл-Банк, один из крупных валов приливных течений в Северном море. Он полагает, что это песчаное тело имеет пористость 30%. Считая, что поровое пространство полностью заполнено нефтью и 20% нефти может быть извлечено, он оценивает запасы нефти такого тела в 133 млн. т. Это теоретическое умозаключение, но оно иллюстрирует возможный потенциал песчаных тел, имеющих сходные размеры и благоприятные параметры пористости — проницаемости.

АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ КОНУСЫ ВЫНОСА И ПЕСЧАНЫЕ ПОКРОВЫ

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Аллювиальные конусы выноса и покровы слагаются гравием, песком и алевролитом. Последние представляют собой обломки, образовавшиеся при быстрой эрозии приподнятого корового пояса или блока, которые обычно ограничены активным сбросом. На поверхности сливающиеся конусы выноса и покровы, питаемые долинами, пересекающими приподнятый блок (рис. 147), находят отражение в виде педимента или аллювиальной равнины. На глубине конусы выноса обычно сливаются и образуют клин осадков мощностью в сотни и первые тысячи метров, тогда как покровы намного тоньше и распространены по площади более широко. Если образование таких конусов выноса происходит в полупустынных обстановках, особенно где сбросообразующие блоковые движения земной коры формируют топографию бассейнов и хребтов, то наибольшие мощности отложений, слагающих конусы выноса, достигают 3000 м, а местами доходят до 8000 м [Crowell J. C., 1954]. В. Б. Булл [Bull W. V. 1972, p. 63] определяет отложения аллювиальных конусов выноса следующим образом: «Конусы выноса состоят из отложенных водой осадков и отложений обломочных потоков или тех и других вместе. Отложенные водой осадки встречаются в виде толщ, заполняющих русла, образований плоскостного смыва или в виде отложений сейв. Русла, вырытые потоками, в своей тыловой части обычно заполнены гравием, который может залегать в виде черепицеобразно контактирующих слоев. Мощность последних достигает значительной величины. Шнурковые покровы тонкозернистых осадков, отложенных в подножье русла, т. е. в основании склона, могут быть массивными, ленточными или толстослоистыми. Отложения сейв по форме залегания представляют собой черепицеобразно прилегающие лопасти водопроницаемого гравия Л. Б. Леополд, М. Г. Волман и Дж. П. Миллер [Leopold L. B., Wolman M. G. and Miller J. P., 1964] описывают аллювиальный конус выноса, развитый по периферии гор Сандия, в штате Нью-Мексико. Они отмечают, что в пределах примерно 1 км от фронта гор, которые ограничены нормальным сбросом, скважинами были вскрыты отложения песка и гравия мощностью от 10 до 30 м, покрывающие граниты. В то же время

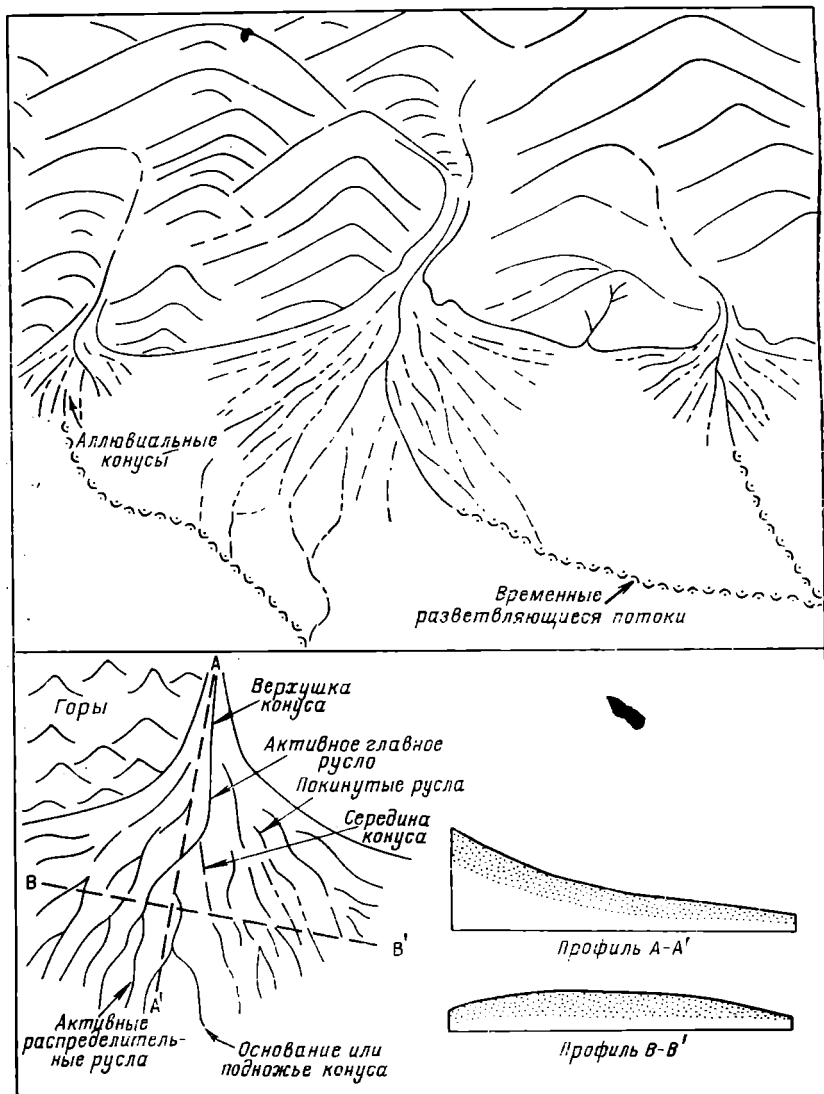


Рис. 147. Схемы срастающихся аллювиальных конусов, показывающие первоначальные аккумулятивные склоны и профили AA' и BB' [Le Blanc R., 1972]

скважинами, пробуренными лишь немного дальше от гор, была пройдена более чем 100-метровая толща песка и гравия, что указывает на быстрое увеличение мощности аллювиального клина. Дальше от источника сноса наблюдается постепенный переход гравия и песка, представляющих собой образования конуса выноса и песчаных покровов, в речные и озерные пески, алевриты

и илы (рис. 148) или в морские отложения, в тех местах, где педимент наклонен к морю. От середины до своих нижних склонов аллювиальные конусы выноса и покровы обычно резко отли-

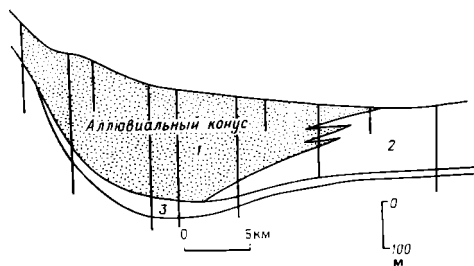


Рис. 148. Профильный разрез аллювиального конуса (1), переходящего в речные отложения (2) и покрывающие плейстоценовые озерные глины (3) в долине, окаймляющей горы Сьерра-Невада, Калифорния [Bull W. B., 1972; Magleby D. C. and Klein I. E., 1965]

чаются тем, что в составе их отложений здесь развиты образования разветвляющихся потоков, которые характеризуют систему дренажа, сильно перегруженную осадками. Р. К. Селли [Selly R. C., 1970, p. 24] пишет: «Много современных разветвляющихся рек находится в пределах предгорных конусов выноса у края гор, где имеется большой объем осадков и часто происходит их разгрузка, хотя и не всегда сезонно. Примеры таких рек были установлены и описаны. Они известны в жарких пустынях среднего запада США и в пределах перигляциальных гор Юкон в Канаде [Blissenbach E., 1954; Williams P. F. and Rust B. R., 1969]. В этих регионах эрозионные процессы протекают довольно интенсивно, сток спорадический и довольно высокий. К тому же здесь имеется мало растительности, препятствующей плоскостному смыву. Из-за таких условий развитые в этих регионах реки перегружены осадочным материалом. Руслу, не успев врезаться, переполняются перемещаемым рекой обломочным материалом. Последний сгружается в виде баров в центре русла, вокруг которых образуются по два новых русла. Неоднократное формирование баров и разветвление русла приводит к образованию сети разветвленных русел в пределах всей площади осадко-накопления. Так, по этой причине аллювий разветвляющихся рек, как правило, сложен русловыми образованиями, состоящими из песка и гравия. Исключение составляют лишь отложения, залегающие поверх отмелей, которые представлены тонкозернистым материалом, обычно алевритами и глинами. Благодаря повторению ветвления русел и изменению дебита потоков в таких аллювиальных отложениях обычно наблюдается отсутствие латерально выдержанных циклических толщ, подобных тем, которые образуются меандрирующими руслами. Тем не менее, в некоторых таких толщах было зафиксировано снижение поглубина осадков вверх по разрезу — переход от гравия к песку и затем к алевролиту. Оно объясняется уменьшением скорости течения по мере постепенного заполнения русла осадками [William P. F. and Rust B. R., 1969].

Термин конус выноса употребляется для характеристики топографической формы скопления осадков, отложенных на пологом склоне педимента (обычно 2—3°), которые поступают из узкой долины, врезанной в соседний хребет из холмов или гор. Отложения, слагающие периферийные части конуса выноса, сливаются в нижней части склона и образуют покровные осадки, которые в основном более тонкозернисты, чем те, которые отложены ближе к горам. Конусы выноса образуются за счет накопления слоев осадков, отложенных главным образом в результате сезонного смыва во время дождливых периодов. Осадки последовательно продвигаются в долину, которая может быть широкой и хорошо выраженной в рельефе. Отложения, слагающие конусы выноса на глубине, в какой-то мере характеризуются зональностью, поскольку они отлагаются вдоль бортов долины. Их форма изменяется от клинообразной до линзовидной [Bull W. B., 1972]. Изменения скорости сезонного стока и тектонические движения, такие как опускание дна или бортов долин по сбросам, оказывают влияние на развитие аллювиального клина. Отдельные слои песков, которые переходят от более грубозернистых к тонкозернистым при удалении от гор и в которых наблюдается изменение зернистости от более грубой в нижней части разреза до более тонкой в верхней части разреза, не характеризуются какими-либо закономерностями в их залегании по отношению друг к другу. Слои галечника могут перекрывать слои песка и гравия и мощность тех же слоев может уменьшаться или увеличиваться до таких значений, что их не удастся выделить в разрезе как стратиграфические горизонты. Возможность проследить такие слои в латеральном направлении зависит главным образом от направления выбранного сечения и от формы тела аллювиального конуса выноса. Как установлено В. Б. Буллом [Bull W. B., 1972], отдельные слои могут быть прослежены на большие расстояния вдоль радиальных разрезов, но вдоль поперечных к конусу выноса разрезов слои линзовидные и обычно пререзаются руслами. Эти русла наиболее распространены возле вершины тела аллювиального конуса выноса, тогда как в периферийных частях, вдали от источника осадков, слои более напоминают покровы. В общем разрез осадочных пород, слагающих тело аллювиального конуса выноса как на глубине, так и в обнажениях, по-видимому, может быть представлен в виде единой пачки, сложенной плохо отсортированными отложениями, представленными гравием, песками, алевролитами, слагающими отдельные слои и линзы, залегающие в разрезе без видимой закономерности.

Электрокаротажная характеристика

Отложения аллювиального конуса выноса состоят в основном из плохо отсортированных терригенных образований, отложенных дренажными системами, которые обычно состоят из серии

разветвляющихся потоков, но которые могут также разгружать приносимый во взвеси осадочный материал в течение прерывистых периодов плоскостного смыва. Следовательно, накопление таких осадков происходит довольно быстро. Они образуют мощные толщи, состоящие из наложенных друг на друга слоев и линз, в каждой из которых может и не наблюдаться изменения гранулометрии по вертикали или может фиксироваться некоторая степень перехода зернистости от более грубой внизу до более тонкой сверху. В отдельных слоях или линзах, где наблюдаются изменения в гранулометрическом составе, это может отражаться на характере кривой собственного потенциала в виде плохо выраженной колоколообразной ее формы. При наложении кривых ПС или при сопоставлении отдельных участков не наблюдается какой-нибудь четко выраженной характерной особенности в их форме. Общая форма электрокаротажной кривой может указывать на наличие мощной толщи плохо отделяемых друг от друга слоев. В этом отношении там, где мощность отложений аллювиального конуса выноса составляет десятки и первые сотни метров, может наблюдаться сходство между электрокаротажной характеристикой отложений аллювиального конуса выноса и отложений мутьевых потоков. В целом форма электрокаротажной кривой ПС отложений аллювиального конуса выноса имеет тенденцию к блоковой и зазубренной (пилообразной).

Уплотнение

Клинья терригенных отложений, накапливающиеся в пределах трогов с серией грабен в основании или вдоль края активно поднимающихся горных хребтов, являются сравнительно слабо уплотняемыми. Поэтому после погребения они в значительной степени сохраняют свою первоначальную форму и большие углы первоначального наклона. Существование, что тело, сложенное отложениями аллювиального конуса выноса, является плоским в кровле и отчетливо, но неравномерно выпуклым в основании. Отложения аллювиального конуса выноса всегда окаймляются с одной стороны более древними породами, которые, вероятно, в значительной мере служили источником приносимого материала. Осадки аллювиального конуса выноса могут также подстилаться аллювиальными и озерными отложениями. В некоторых местах, где приподнятый пояс гор окаймляется морским побережьем или где этот пояс ограничивает долину, через которую вторгалось море, отложения аллювиального конуса выноса могут перекрывать морские карбонатные и некарбонатные породы и переходить в них латерально. В зависимости от природы основания, на котором произошло отложение осадков аллювиального конуса выноса, последующее уплотнение может изменить форму песчаного тела конуса выноса, но тем не менее оно сохранит свою характерную особенность — плоскую кровлю и неровную подошву.

Учитывая это, при составлении разреза песчаного тела, сложенного отложениями аллювиального конуса выноса, в процессе палеогеоморфологических реконструкций его форм в качестве маркирующего следует выбирать слой или пласт в разрезе образований, залегающих непосредственно над отложениями аллювиального конуса выноса.

Первоначальные пористость и проницаемость отложений аллювиального конуса выноса довольно высоки. Поверхностные воды проникают через них вниз настолько быстро, что только самые нижние в гипсометрическом отношении их слои являются водоносными. Касаясь отложений аллювиальных конусов выноса, окаймляющих горы Сандия, в штате Нью-Мексико, Л. Б. Леополд, М. Г. Волман и Дж. П. Миллер [Leopold L. B., Wolman M. G. and Miller J. P., 1964] указывают, что в скважинах, пробуренных у подножья горного хребта, воду обычно обнаруживают в маломощных отложениях, слагающих окончания аллювиального конуса выноса, сложенного гравием, залегающим на породах, из которых состоит этот хребет. В скважинах, пробуренных немного дальше от хребта, где были пройдены песок и гравий аллювиального конуса выноса мощностью несколько десятков метров, эти отложения не содержали воды.

Уплотнение с увеличением давления и температуры уменьшает проницаемость полимиктовых песчаных образований, которые в большей степени подвержены вторичным изменениям, чем кварцевые пески. Эти изменения обусловлены механическим сдавливанием зерен, в частности зерен, слагающих обломки пород, полевые шпаты и железомagneзиальные минералы. Проявляются они и в эпигенетическом изменении минеральных комплексов с образованием глинистых минералов, которые частично заполняют поровое пространство породы. Наконец, эти изменения также проявляются в цементации зерен кальцитом, окисью железа и другими компонентами, отложенными циркулирующей водой. Результатом влияния движения воды на глубоко погребенные отложения аллювиального конуса выноса является уменьшение их проницаемости в вертикальном направлении и в развитии зон сравнительно более высокой проницаемости породы вдоль зон, направление которых определяется морфологическими и другими особенностями, существовавшими в процессе седиментации, в частности вдоль таких форм, как древние русла.

Древние песчаные тела

Примеров отложений древних аллювиальных конусов выноса известно немного, однако некоторые из них описаны в литературе. Другие отложения, которые, вероятно, являются образованиями аллювиальных конусов выноса, также были описаны, однако по поводу их происхождения не было высказано никаких

суждений Р. К. Селли [Selly R. C., 1970, p. 30], основываясь на своей более ранней публикации [Selly R. C., 1965], следующим образом описывает отложения докембрийского аллювиального конуса выноса в северо-западной Шотландии: «Характер петрографического состава отложений базальных фаций, грубозернистость, угловатость и плохая отсортированность слагающих их зерен — все это свидетельствует о том, что эти отложения образовались из расположенных неподалеку льюисских гнейсов, Форма залегания и их первичный радиальный наклон, связанные с условиями осадконакопления, свидетельствуют о том, что они представляют собой образования древних предгорных конусов выноса. Их аккумуляция, вероятно, была обусловлена обвалами, грязевыми потоками и паводками, которые образуются на крутых склонах вблизи верховья современных конусов выноса [Blackwelder E., 1928]». На ряд примеров таких отложений, которые, по-видимому, частично сложены образованиями аллювиальных конусов выноса, указывает Р. К. Селли [Selly R. C., 1970]. Мощность некоторых из них составляет многие сотни метров. В них наблюдается латеральный переход от отложений разветвляющихся потоков вблизи от источника сноса к флювиальным осадкам, отложенным в меандрирующих системах потоков, или к озерным отложениям. Другие состоят из широко распространенных, но сравнительно маломощных (более чем 100 м) покровов конгломератового песчаника. Возраст отложений, слагающих эти толщи в различных частях мира, колеблется от докембрия до кайнозоя.

Весьма интересными в нефтегазоносном отношении являются отложения позднепалеозойских и мезозойских аллювиальных конусов выноса и покровов в Северной Африке, поскольку местами они образуют коллекторы для нефти и газа. Все они выделяются под названием Нубийских песчаников. В литературе по вопросу о Нубийских песчаниках существуют разногласия [Rosenfeld R., 1968]. Этот термин, используемый в разных местах Северной Африки, включает слои, возраст которых колеблется от карбона до раннего мела. Слои, относимые к Нубийскому песчанику (в узком смысле), сложены преимущественно континентальными и пресноводными образованиями, хотя некоторые толщи, произвольно отнесенные к Нубийским песчаникам, содержат слои с морской фауной. Е. Д. Мак Ки [McKee E. D., 1963] изучил последовательность напластования и типы текстур внутри слоев, отнесенных к Нубийским, и пришел к выводу, что они были отложены во флювиальных, озерных, эстуарных и лагунных обстановках, существовавших на широкой континентальной равнине, которая непрерывно, но неравномерно погружалась. Такие слои континентального происхождения распространены в пределах краевых частей Сахарского и Аравийского докембрийских щитов. Здесь они пользуются широким распространением и в них фиксируется четко выраженная косая слои-

стость, характерная для отложений разветвляющихся потоков. Основываясь на выводах В. Л. Стокса [Stokes W. L., 1950] и П. Ф. Уильямса [Williams P. F., 1969], сделанных по поводу условий образования таких отложений в других частях мира, Р. С. Селли [Selley R. C., 1970] выдвинул новую гипотезу в отношении их генезиса. Он считает, что эти отложения являются образованиями предгорных конусов выноса, и они сформированы из обломочного материала, образованного в результате эрозии отступающих уступов более древних слоев песчаников и конгломератов.

В бассейне Сирт в Ливии большое количество терригенного

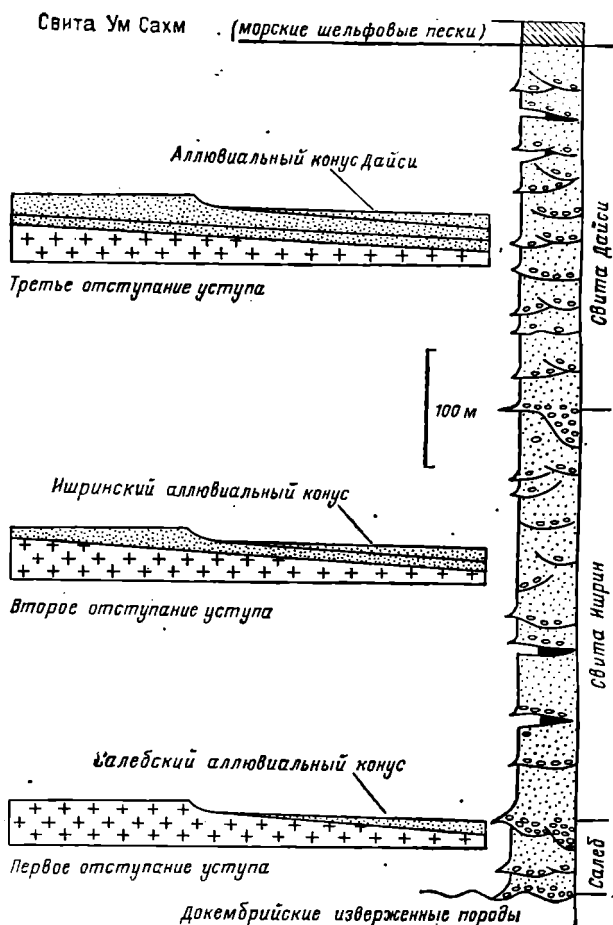


Рис. 149. Разрез кембро-ордовика в Иордании, показывающий, что трансгрессивно налегающие отложения аллювиальных конусов выноса образовались в результате повторяющегося поднятия и педиментации [Selly R. C., 1970]

обломочного материала образовалось в результате эрозии докембрийского массива, расположенного к югу. Об этом обломочном материале упоминают Л. С. Конант и Дж. Х. Гударзи [Conant L. C. and Goudarzi G. H., 1967, p. 721], которые пишут: «Широким распространением в южной Ливии пользуется мощная толща континентальных слоев, давно известная как Нубийский песчаник, которая также присутствует на большей части Северной Африки и Аравийского полуострова, хотя местами она известна здесь под другими названиями». В качестве таких Р. К. Селли [Selly R. C., 1970] описывает кембро-ордовикские конгломератовые слои песчаника, развитого в Иордании (рис. 149), которые, как он отмечает, сходны по своей литологии и по характеру осадочных текстур с континентальными слоями Нубийского песчаника, известного в Египте. Они представляют собой трансгрессивно налегающие отложения аллювиальных конусов выноса, образовавшихся в результате повторяющегося поднятия и педиментации. Суммарная мощность толщи песчаников, развитых в Иордании, достигает 700 м. Она представлена грубозернистыми, косослоистыми аллювиальными песчаниками. Последние, как полагают, были отложены разветвляющимися потоками, текущими в пределах сложно построенного комплекса пород, отложенного широкими аллювиальными конусами выноса, чешуйчато перекрывающимися друг друга. Ими и была сформирована предгорная равнина. Эта последовательность слоев залегает на докембрийском фундаменте, представленном изверженными породами, и перекрывается песчаниками, отложенными как пески морского побережья.

Нефтяные и газовые месторождения

Нижнемеловые песчаники в бассейне Сирт в Ливии, относимые Л. С. Конантом и Г. Х. Гударзи [Conant L. C. and Goudarzi G. H., 1967] к Нубийским песчаникам, и литологически похожая на них толща неморских песчаников карбона, развитая в регионе Суэцкого залива (АРЕ), также относимая к Нубийским песчаником [Weeks L. G., 1952], содержат нефть в структурно-стратиграфических ловушках. Р. К. Селли [Selly R. C., 1970, p. 47] по поводу этих скоплений нефти в бассейне Сирт пишет следующее: «Здесь отложения нижнемеловых аллювиальных конусов выноса залегают на неровной (нарушенной сбросами?) поверхности фундамента. Они погребены морскими сланцами сеноманской трансгрессии. Там, где эти отложения конусов выноса залегают в структурном отношении выше, чем сланцы, они в большинстве случаев оказываются несцементированными и содержат несколько интересных нефтяных месторождений». В восточном замыкании бассейна Сирт отложение этих

образований аллювиальных конусов выноса было синхронично прогибанию бассейна, сбросообразованием и блоковыми перемещениями. Л. С. Конант и Дж. Х. Гударзи [Conant L. S. and Goudarzi G. H., 1967] отмечают, что скопления нефти в этих нижнемеловых слоях залегают в интервале глубин 2700—4300 м. В районе Суэцкого залива скопления нефти в песчаниках карбона содержатся в тех местах, где выклинивающиеся вверх по восстанию пласты песчаников образуют сбросовые уступы, перекрытые миоценовыми морскими аргиллитами. Интересно, что и в бассейне Сирт, и в районе Суэцкого залива (в первом районе скопления углеводородов, по-видимому, контролируются в основном структурно-стратиграфическими ловушками, а в последнем — главным образом структурными) коллекторские пласты, представляющие отложениями аллювиальных конусов выноса, перекрываются морскими сланцами или глинистыми породами. Важная закономерность установлена там, где отложения аллювиальных конусов выноса перекрыты морскими трансгрессивными отложениями, в них могут быть встречены ловушки для углеводородов, образование которых зависит главным образом от наличия структурного перегиба. Такие условия могут возникать там, где поднятый по сбросам блок земной коры образует пояс гор, прилегающих к береговой линии моря и протягивающихся параллельно ей. Они могут возникать также там, где долина, окаймляемая отложениями аллювиального конуса выноса, поступающими из соседних гор, и подстилаемая серией активно погружающихся грабенов, затопляется трансгрессирующим морем. Там, где отложения аллювиального конуса выноса перекрываются морскими глинистыми породами, которые могут быть карбонатными, нефть образуется в морских породах и скапливается в отложениях аллювиальных конусов выноса, которые могут содержать и нефть, и газ. Там, где перекрывающие слои в значительной мере углистые, сформировавшиеся в прибрежных или речных болотах, более вероятно, что генерированные углеводороды будут состоять преимущественно из природного газа.

В Ливии очень большое количество нефти получено из нижнемеловых песчаников, которые относятся к Нубийским. Дж. М. Ладор [Lador J. M., 1971] приводит данные о накопленной добыче нефти на начало 1971 г. из ряда месторождений, введенных в эксплуатацию с начала 60-х годов. На этих месторождениях добыча нефти производится исключительно или главным образом из меловых отложений. На месторождении Зелтен накопленная добыча нефти из меловых и палеоценовых отложений составляла примерно 131 млн. т, на месторождении Сарир было добыто 50 млн. т из отложений верхнего мела, а на месторождении Ваха — 39 млн. т из отложений мела и эоцена. На других месторождениях с залежами в отложениях мела накопленная добыча составила 42 млн. т. К ним относятся месторождения Дор, Котла, Магид, Мансур, $L=65$, Джебель, Легиб, Ора,

Бахи, Бел-Хедан и Самах. Суммарная накопленная добыча всех этих месторождений к началу 1971 г. составляла приблизительно 262 млн. т легкой нефти. Новое месторождение, о котором упоминает Дж. М. Ладор [Lador J. M., 1971], находится примерно в 16 км юго-западнее месторождения Зелтен. На нем был получен в скважине-открывательнице приток нефти плотностью 0,784 г/см³ дебитом 131 т/сут из песчаника залегающего на глубине примерно 3350 м, который Дж. М. Ладор относит к Нубийскому.

Глава 9

ЗОЛОВЫЕ ПЕСКИ

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология

Накопление золотых песков происходит на земной поверхности, которая в ископаемом состоянии может быть представлена поверхностью углового или параллельного несогласия. При этом в условиях пустынь перерыв может быть довольно значительным. Небольшим он может быть в случае образования песчаных дюн в виде речных прирусловых отмелей или прибрежных морских и озерных отложений. В пустынях, где обычно образуются песчаные дюны, песок вначале приносится из участков дефляции, для которых характерно наличие остаточных отложений, состоящих из галечника или выветрелых отложений, образовавшихся в условиях прибрежных пляжей. Вторично песок образуется в результате постоянного перемещения дюн.

Песчаные дюны имеют различную форму, на основании которой разработаны их различные классификации [Pettijohn F. J., Potter P. E. and Siever R., 1972]. При создании таких классификаций учитываются главным образом физические параметры, такие как объем поступающего в них песка и скорость ветра, которые определяют или оказывают влияние на их морфологию. Для всех таких дюн характерны большие амплитуды, значительные углы ($>30^\circ$) и косая слоистость золотого типа (рис. 150). Эти характерные черты были описаны Е. Д. Мак Ки [McKee E. D., 1966].

Пачки косослойных пород, нагроможденных одна на другую, иногда образуют толщи мощностью в несколько десятков метров. Основанием такой толщи может быть зона горизонтального напластования, сложенная грубозернистыми, плохо отсортированными галечными песками, перекрытая движущимся фронтом дюн. Такие плоские песчаные покровы образуются за счет выветривания поверхности пустыни и могут занимать обширные площади. Удаленный с них песок переносится ветром и отлагается на дюнах, которые могут, в свою очередь, мигрировать на другие участки плоских песчаных зон. Х. Е. Рейнек и И. Б. Синг [Reineck H. E. and Singh I. B., 1973. стр. 196] описывают плоские поверхности в существующих в настоящее время пустынях так: «Песчаные покровы обычно занимают большие площади пустыни и представляют собой более или менее плоские поверхности. Возможно присутствие слабых ундуляций или небольших дюноподобных образований. На поверхности редко на-

блюдаются такие особенности, как следы ряби, образованные ветром из песка и отдельных минеральных частиц. Однако в период бурь происходит обнажение песков [Bagnold R. A., 1941].

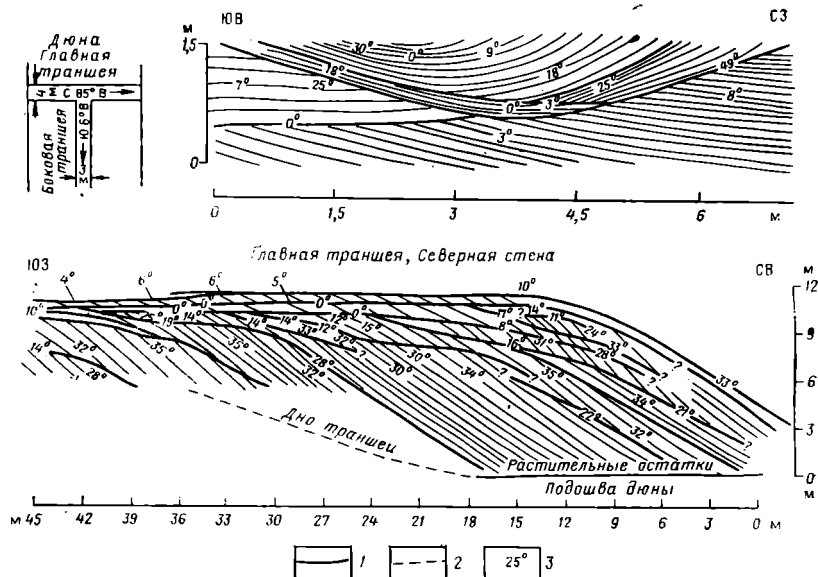


Рис. 150. Внутренняя структура песчаной дюны в пределах национального заповедника Уайт-Сандс, Нью-Мексико, на разрезе с юго-запада на северо-восток в направлении транспортировки песка и на поперечном разрезе с юго-востока на северо-запад [McKee E. D., 1966]:

1 — ограничивающая поверхность раздела; 2 — косые слои; 3 — наблюдаемое падение

Горизонтальные песчаные напластования чередуются с более грубыми осадками — галькой. Плоская песчаная толща в таких случаях слагается внутри горизонтально залегающими слоями песка, разделенными отдельными пластами гальки.

Такие редкие пески с горизонтальной слоистостью представляют собой также весьма характерный тип напластований в междюнных пространствах». Далее они указывают: «Известны обширные площади развития пластообразно залегающих песков, совершенно лишенных любого вида гальки. Такие песчаные зоны горизонтального напластования сложены хорошо отсортированными эоловыми песками с развитой горизонтальной слоистостью. Сочетание быстрой седиментации, высокой скорости ветра и довольно однообразного размера слагающих песок частиц приводит к накоплению пластообразно залегающих песков с широко развитой горизонтальной плоскостью у слагающих их песчаных пластов [Bagnold R. A., 1941], [Glennie K. W., 1970].

Х. Е. Рейнек и И. Б. Синг [Reineck H. E. and Singh I. B., 1973, стр. 212] вслед за К. В. Гленни [Glennie K. W., 1970] в ка-

честве критериев, характеризующих образование песка в результате ветровой деятельности, указывают следующие:

1. Напластование может быть горизонтальным, но обычно наблюдается в крупном масштабе косая слоистость, причем с довольно постоянной ориентировкой.

2. Отдельные тонкие пропластки сложены хорошо отсортированным материалом, особенно это касается мелкозернистых частиц; обычно наблюдается четкая граница между пропластками, сложенными частицами разного размера.

3. Размеры частиц изменяются от тех, которые свойственны алевриту, до тех, которые слагают грубозернистые песчаники. Максимальный размер диаметра отдельных зерен и небольших галек, транспортируемых ветром, достигает 1 см, однако редко встречаются частицы, диаметр которых превышает 5 мм.

4. Наиболее крупные песчаные зерна (0,5—1,0 мм), как правило, хорошо окатаны.

5. Глинистые покровы встречаются редко.

6. Пески лишены глин.

7. Несцементированные кварцевые зерна характеризуются наличием матовой (морозной) поверхности.

8. Слюда, как правило, отсутствует.

Электрокаротажная характеристика

В песчаных дюнах, которые сохранились в разрезе и представлены морскими и озерными прибрежными песками либо образованиями речных прирусловых отмелей, стратификация, как правило, по-видимому, отсутствует. Тщательным изучением можно установить, что дюнные отложения в действительности являются косослоистыми. Однако слагающие их песчаные образования, имеющие примерно одинаковый размер частиц, маскируют это. В некоторых дюнах можно видеть слоистость между слагающими их соседними пропластками, особенно там, где наблюдается контактирование песчаных образований с заметным различием слагающих их песчаных зерен. В самом теле дюны обычно наблюдаются малые изменения в среднем размера зерен слагающих ее отложений от поверхности до подошвы. Также очень мало имеется межгранулярного материала. При этом пески очень чистые и хорошо отсортированные. Постоянные действия ветра приводят к сортировке песков и образованию их скоплений, которые различаются по размерам слагающих их частиц. Последующие циклы ветрового действия, вызванные изменениями климата или характера ветра, могут привести к образованию более молодых наложенных дюн, сложенных песками, характеризующихся другими средними размерами слагающих их частиц. Следовательно, песчаные образования дюн, мощность которых может достигать более 100 м, как правило, будут иметь постоянный средний размер слагающих их частиц в каждой индивидуальной дуне. Изменения в разрезе

размеров слагающих дюны частиц могут наблюдаться в различных дюнах. Кривая ПС, характеризующая в разрезе наложенные дюны, будет иметь цилиндрическую форму. Она может характеризоваться либо довольно постоянной амплитудой, либо наложенными сегментами различной амплитуды.

Уплотнение

За исключением небольших песчаных дюн в речных прирусловых отмелях и прибрежных песчаных телах, накопление эоловых песков происходит в условиях пустынь на земной поверхности. Эта поверхность может представлять собой поверхность несогласия или перерыва внутри аллювиального конуса выноса или пластообразно залегающего песчаного тела мощностью в несколько десятков метров. Она может также представлять собой поверхность перерыва в условиях осадконакопления от паралических до внутренних неритовых, когда карбонатный шельф или приливно-отливная полоса обнажается в результате регрессии моря и образуется обширная прибрежная равнина, которая затем покрывается пластообразными песчаными образованиями или дюнами. Действие уплотнения на отдельные песчаные тела, такие как отдельные, но сложно построенные дюны, пески листообразной формы или песчаные тела, образовавшиеся в месте слияния (соединения, контакта) дюн, будет зависеть от стратиграфических соотношений, которые образуются в результате этого. Там, где песчаная дюна простого или сложного строения залегает на поверхности несогласия или на мощной толще, сложенной в основном песками аллювиальных конусов выноса, она сохраняет свою первоначальную форму, т. е. главным образом плоскую у основания и выпуклую в кровле. Там, где дюна залегает на отложениях, подверженных уплотнению, таких, например, как прибрежные отложения ила, ее первоначальная плоская у основания поверхность может быть деформирована, и песчаное тело будет иметь двояковыпуклую форму. В таких случаях бывает трудно отличать такую дюну, если она захоронена позднее морскими отложениями, от песчаных тел, образованных приливными течениями (см. рис. 146). Отдельные эоловые песчаные тела этого типа представляют исключение, и большинство отложенных ветром песчаных накоплений залегает на почти плоской поверхности, которая была выровнена до отложения вышезалегающих слоев или почти одновременно с их отложением. Уплотнение таких слоев происходит относительно однообразно и не отличается по своей морфологии от характера уплотнения песчаных слоев другого генезиса.

Что же касается действия уплотнения на пористость и проницаемость эоловых песков по сравнению с песчаными образованиями другого генезиса, то оно значительно отличается, поскольку имеются различия в составе песков, отложенных ветром и в водных условиях. Эоловые пески, как правило, хотя и

не всегда, являются кварцевыми. Сложены они частицами довольно однообразной формы и размера и не содержат в своем первоначальном составе значительное количество алевроитового или глинистого материала, попавшего в составе пыли вместе с песком. Исключениями этого являются дюны, обнаруженные в дельте р. Рио-Гранде в Техасе, в составе которых содержатся весьма мелкозернистые пески и алевролиты. По этой причине они относятся к «глинистым» дюнам. Диагенетические изменения в результате уплотнения пород после их захоронения в эоловых песчаниках минимальны. Лишь в том случае, когда метеорные воды движутся через пласт песка, они могут вызвать процессы растворения и переотложения [Rittenhouse G., 1971], что приводит к корродированию слагающих породу зерен и межзерновому окварцеванию. Последнее снижает пористость и проницаемость породы. В общем у эоловых песков сохраняется в большей степени их первоначальное поровое пространство, и уплотнение оказывает меньшее воздействие на него, чем у песков другого происхождения. Во многих телах песчаников эолового происхождения значения пористости и проницаемости довольно однообразны по всему песчаному телу, что обычно присуще некоторым пескам морского генезиса, но редко, наблюдается в речных песках.

Древние песчаные тела

Среди многих обнаруженных древних эоловых песчаных отложений известно несколько классических примеров. К таким можно отнести юрские песчаники Навахо [Stokes. W. L., 1961], развитые в пределах плато Колорадо, юрские песчаные образования, слагающие свиту Энтрада [Tanner W. F., 1965] в штате Нью-Мексико, триасовые песчаники свиты Ботукату [de Almeida F. F. M., 1953], известные в районе Сан-Пауло, в Бразилии, пермские песчаники Коконайно [McKee E. D., 1969], встречающиеся в Гранд-Каньон, и пользующиеся распространением в Вайоминге отложения свиты Каспар, возраст которой датируется от пенсильвания до перми [Coneybeare C. E. V. and Crook K. A. W., 1968]. В этих песчаниках наблюдается в крупном масштабе обусловленная ветровыми процессами косая слоистость, характерная для песчаных дюн. Древние листообразные (пластовые) пески обычно не являются характерным диагностическим признаком эоловых дюн. Их нелегко обнаружить.

Мощность слоев древних песков обычно может достигать более 100 м. Мощности песчаников Навахо, которые представлены высокопористыми средне- и мелкозернистыми кварцевыми разностями [Lessentine R. H., 1965], достигает 300 м. Интересно, что мощность современных песчаных дюн, известных в Сахаре, местами достигает 200—300 м. Свита Энтрада, которая чередуется слоями ангидритового известняка, сложена в верхней своей части песчаной пачкой, которая состоит из эоловых песча-

ных образований. Этот песчаник, как его описывают Дж. А. Петерсон и другие [Peterson J. A. et al., 1965], является массивным, цвет его изменяется от оранжевого до серого, он хрупкий, мелко- и среднезернистый. Мощность его достигает 46 м. Вышеупомянутые исследователи отмечают, что песчаники свиты Энтрада представляют собой пористые и проницаемые покровные образования, которые слагают единую гидрологическую пачку. Песчаники Коконайно по развитой в них косой слоистости, наблюдаемой в отложениях, напоминают песчаники Навахо. По описанию Е. Д. Мак Ки [McKee E. D., 1969], они также представлены хорошо отсортированными кварцевыми разностями, которые местами обнажаются. Мощность их достигает более 150 м в Северной Аризоне. Е. Д. Мак Ки [McKee E. D., 1969, р. 88] так описывает эти песчаники: «Наиболее характерной особенностью песчаников Коконайно является крупномасштабная обнажающаяся на плоскости косая слоистость, которая особенно хорошо видна на белых поверхностях обрывов, где этот песчаник обнажается в пределах всего района [McKee E. D., 1933]. Наклонные слои, имеющие падение до 34°, имеют слабо изогнутые поверхности, длина которых иногда составляет 18—21 м. Выровненные верхние края отдельных пачек слоев образованы пологими эрозионными поверхностями, которые являются основанием залегающей выше пачки косослоистых пород. Другой типичной текстурной особенностью песчаников Коконайно является наличие удлиненных параллельных следов струйчатости (знаков ряби) с округлыми гребнями. Их оси ориентированы параллельно падению склонов».

Приведенные выше описания являются типичными для многих обнажений древних золотых песков, которые образуют массивные и великолепно изготовленные природой геологические памятники во многих национальных парках США и других частях мира. Свита Ботукату, которая протягивается из Бразилии на юг в Уругвай и Аргентину, представляет особый интерес, поскольку она, возможно, как это считают Р. М. Сандфорд и Ф. В. Ланге [Sanford R. M. and Lange F. W., 1960], представляет собой самое крупное поле непрерывного развития золотых отложений в мире. Площадь ее распространения превышает 1 300 000 км². Эта свита, мощность которой обычно не превышает 200 м и лишь в районе Сан-Пауло увеличивается до 300 м, сложена мелко- и среднезернистыми кварцевыми песчаниками. Зерна песчаников хорошо окатаны, характеризуются рябой поверхностью, имеющей мелкие углубления, и покрыты красным железистым пигментом. Характерной чертой этой толщи, где она обнажается, является наличие золотой косой слоистости, подобной той, которая описана выше при характеристике песчаников. Породы свиты Ботукату залегают с несогласием и перекрываются также с несогласием вулканическими породами верхнего триаса. Породы свиты Ботукату характеризуются вы-

сокими значениями пористости и проницаемости, а также благоприятными структурными и стратиграфическими условиями, что дает возможность рассматривать их в качестве перспективных коллекторов нефти и газа. Р. М. Санфорд и Ф. В. Ланге [Sanford R. M. and Lange F. W., 1960, p. 1344] пишут: «В штате Сан-Пауло на многих площадях эти песчаники насыщены асфальтом, который образовался в них в результате окисления мигрирующей снизу по разломам нефти».

Нефтяные и газовые месторождения

Касаясь экономического значения золотых отложений в качестве нефтегазоносных коллекторов, Р. К. Селли [Selly R. C., 1970, p. 63] писал: «Золотые песчаники обладают высокими значениями пористости и проницаемости, поскольку они сложены, как правило, хорошо окатанным и отсортированным материалом, который лишь слегка сцементирован. Высокая региональная их проницаемость, по-видимому, обусловлена отсутствием в их составе глинистых прослоев. Из-за этих особенностей золотые песчаники могут быть важными водоносными горизонтами и хорошими коллекторами углеводородов». Р. К. Селли [Selly R. C., 1970], отмечает, что золотые отложения считаются многими низкоперспективными на нефть и газ из-за того, что их образование происходит в континентальных условиях. Однако такие отложения могут залегать или перекрываться осадочными образованиями, сформированными в условиях от морских до паралических, в составе которых могут содержаться породы, могущие быть нефтематеринскими. Хорошим подтверждением этому являются нижнепермские красноцветные породы, слагающие свиту Ротлигенд в Северо-Западной Европе и в Северном море. Они залегают на породах, содержащих нефтематеринские породы, и поэтому являются газоносными.

Газовые месторождения Северного моря

К крупнейшим газовым месторождениям Северного моря, в которых продуктивными являются отложения Ротлигенда, помимо месторождения Гронинген, расположенного в северной прибрежной части Нидерландов, относятся месторождения Индефатигабл, Леман и Уэст-Сол, расположенные в водах Великобритании, недалеко от побережья Восточной Англии и Линкольншира. Отложения Ротлигенда, представленные золотыми песчаниками и другими песчаными породами, образовавшимися в пустынных условиях, залегают с несогласием на угленосных отложениях каменноугольного возраста. К. В. Гленни [Glennie K. W., 1972] показал, что отложения Ротлигенда развиты в северо-западной Европе и южной части Северного моря, откуда они распространяются вплоть до восточного берега Англии. С юга на север наблюдается изменение фации от речных, образовавшихся во впадинах типа вади, до отложений песчаных

дюн, сформировавшихся в прибрежной равнине, далее к северу развиты глинистые породы и эвапориты, отложившиеся в пределах приливной полосы, в условиях, подобных тем, при которых происходит образование в настоящее время сабхи в районе Персидского залива. О мощностях и литологической изменчивости этих слоев П. Е. Кент [Kent P. E., 1967, p. 739] писал: «Невозможно в настоящее время с достаточной уверенностью говорить о региональной изменчивости нижнепермских отложений, слагающих свиту Ротлигенд. Важнейшим условием является то, что к ней приурочен главный объект поисков газа в Северном море: базальная пачка, мощность которой в отдельных местах измеряется десятками метров. В составе этих песчаников на выявленных месторождениях в районе Слехтерен и, по-видимому, повсеместно и в других местах значительное место приходится на долю почти несцементированных донных песчаных образований высокой пористости и проницаемости». Скважины в районе Слехтерена расположены вблизи Гронингена на северном побережье Нидерландов. Примерно пять лет спустя, рассматривая особенности геологического строения разрезов в юго-западной, южной и центральной частях бассейна осадконакопления Ротлигенда, К. В. Гленни [Glennie K. W., 1972] также не высказался определенно о характере изменения мощностей и литологии Ротлигенда в региональном плане и лишь отметил: «Общая мощность и относительное соотношение пород разных фаций в разрезе изменяются от одного места к другому, без определенной закономерности. На любой площади породы одной или нескольких фаций, слагающих свиту Ротлигенд, могут отсутствовать».

В общем свита Ротлигенд, сложена в нижней части разреза пачкой конгломератовых песчаников, переслаивающихся с косослоистыми печаниками, а в верхней части разреза — пачкой хорошо отсортированных песчаников, косослоистых по плоскостям напластования, которые сверху перекрываются слоями доломитов и эвапоритов. В интерпретации К. В. Гленни [Glennie K. W., 1972], нижняя пачка состоит из дюнных и речных песков, которые образовались в смешанных условиях: золовых и уади. Верхняя пачка, по его мнению, сложена образованиями песчаных дюн. Эти газоносные песчаники представляют собой фацию, которая пользуется широким развитием от Гронингена вплоть до Англии на западе, покрывая площадь длиной примерно 1000 км и шириной до 300 км. Бассейн, в котором происходило накопление пород, слагающих свиту Ротлигенд, протягивается с востока на запад. Длина его достигает 2000 км, ширина — 500 км. Условия образования этих газоносных песчаных и связанных с ними пород была освещена К. В. Гленни [Glennie K. W., 1972].

Вслед за поднятием и нивелировкой отложений карбона, содержащих угольные пласты, произошло отступление в сторону суши сухих широких долин временных потоков, окаймленных

аллювиальными конусами выноса. Пески, переносимые ветром, образовали пластовые песчаные дюны на равнине, простирающейся в сторону развития отложений типа сабхи, которые окаймляли береговую линию крупного внутриконтинентального солончатого бассейна. Последующая трансгрессия этого «моря пустыни» на прибрежную равнину привела к переработке верхней части данных песков и затем к отложению пород, выделяемых под названием Купфершифер и сложенных медистыми сланцами, являющимися базальной пачкой эвапоритов цехштейна.

Рассматривая литологический состав газоносных дюнных песков, К. В. Гленни [Glennie K. W., 1972, p. 1058] пишет: «Пески представлены мелко- и среднезернистыми разностями, однако местами, в частности у подошвы внутрiformационной толщи, встречаются грубозернистые. Более мелкие зерна полуугловатые, более крупные — полуокатанные, реже окатанные. Обычно зерна со следами действия мороза. Отсутствует какой-либо глинистый материал за исключением аутигенных глин. Цементом песчаников обычно являются гематит и аутигенный глинистый материал, однако местами важную роль в составе цемента играют доломиты и ангидриты вместе с небольшим количеством аутигенного кварца. В зависимости от количества присутствующего в породе цемента песчаники могут быть твердыми или совершенно хрупкими. В тех местах, где первичная пористость сохранилась, эти песчаники являются основными коллекторскими пластами, содержащими газ в отложениях Ротлигенда».

По мнению К. В. Гленни [Glennie K. W., 1972], вероятные извлекаемые запасы газа, заключенные в известных крупнейших газовых месторождениях, содержащих залежи в отложениях Ротлигенда, составляют примерно 2,5 трлн. м³. Из этого количества 1,8 трлн. м³ приходится на месторождение Гронинген и 700 млрд. м³ содержится в крупнейших газовых месторождениях, выявленных в Северном море (Индефатигабл, Леман, Уэст-Сол). Кроме того, примерно еще 250 млрд. м³ извлекаемых запасов газа содержится в более мелких месторождениях, в которых добыча газа осуществляется из отложений Ротлигенда на территории Нидерландов и ФРГ.

Газовые месторождения Хасси-Рмель и Худ-Беркауи, Алжир


Газовые месторождения Хасси-Рмель и Худ-Беркауи находятся в Алжире и расположены соответственно в 600 и 800 км к юго-востоку от г. Оран. Оба эти месторождения приурочены к пологим слабо вытянутым куполовидным складкам, выраженным в песчаных отложениях нижнего триаса, которые с несогласием залегают на ундулирующей поверхности палеозоя (частично на породах кембро-ордовика). Куполообразные структуры, по-видимому, образовались в результате облекания нижнетриасовыми песчаниками погребенных выступов палеозойских пород. Эти песчаники, которые не имеют названия, были описаны О. Али

[Ali O., 1973]. Они развиты в северо-западном Алжире на территории площадью, по крайней мере, 150 тыс. км². Их мощность колеблется в широких пределах в зависимости от топографии подстилающих их палеозойских пород и достигает местами 200 м. В центральной части Северной (алжирской) Сахары породы нижнего триаса залегают непосредственно на докембрийском фундаменте. Отложения нижнего триаса были подразделены О. Али [Ali O., 1973] на четыре пачки: 1) базальную серию Инфериор, в составе которой выделяется 70-метровая пачка глин, присутствуют андезиты и песчаники; 2) нижнюю пачку С, представленную 50-метровой толщей песчаников; 3) среднюю пачку В, выраженную 40-метровой толщей глин и песчаников, и 4) верхнюю пачку А, сложенную кварцевыми песчаниками, мощность которой колеблется от 10 до 30 м. Пачка А согласно перекрывается глинами и эвапоритами. На месторождении Хасси-Рмель пачка А является основным продуктивным горизонтом. На месторождении Худ-Беркауи продуктивны главным образом пласты песчаников, развитые в составе базальной серии Инфериор. По данным О. Али [Ali O., 1973], песчаники пачки А представлены мелко- и среднезернистыми разностями, состоящими из полуокатанных зерен, частично сцементированных ангидритовым цементом. Песчаники состоят из достаточно хорошо отсортированного материала и характеризуются довольно высокими значениями пористости, величина которой достигает 16%. Песчаные пласты в разрезе серии Инфериор представлены разностями от мелко- до грубозернистых. В целом песчаники триаса кварцевые. Они состоят из полуокатанных и полуугловатых зерен. Пористость их обычно колеблется в пределах 12—15%, но местами достигает более 20%. Проницаемость в среднем составляет 500 мД и иногда достигает 1300 мД.

О. Али [Ali O., 1973] указывает, что запасы газа на месторождении Хасси-Рмель оцениваются в 1960 млрд. м³. К сожалению, не приводится оценка эксплуатационных возможностей месторождения Худ-Беркауи, в разрезе которого эффективная мощность песчаного коллектора составляет 13 м.

Никаких ископаемых остатков не было обнаружено в нижнетриасовых песчаниках, развитых в северо-западной части Алжирской Сахары. Песчаники залегают несогласно на полого ундулирующей поверхности палеозойских и докембрийских пород и согласно перекрываются триасовой эвапоритовой толщей, возраст которой датируется от среднего до верхнего триаса. Наблюдаемые здесь стратиграфические соотношения в разрезе осадочных пород подобны тем, которые установлены в отложениях Ротлигенда в Северном море. Это позволяет предположить, что нефтегазоносные песчаники нижнего триаса, развитые в Алжире, не являются в большинстве своем морскими образованиями и, по крайней мере, часть их представлена эоловыми отложениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

-  *Жемчужников Ю. А.* О возможности и условиях захоронения аллювиальных осадков в ископаемых толщах. — Труды ГИН АН СССР, 1954, вып. 151, с. 9—29.
- Марковский Н. И.* Палеогеографические условия размещения крупных залежей нефти. М., Недра, 1965, 399 с.
- Марковский Н. И.* Зональность размещения нефтегазоносных месторождений. М., Изд. ВНИИОЭНГ, 1967, 104 с.
- Хуторов А. М.* Образование вторичных залежей нефти в Ферганской депрессии. — Геология нефти, 1957, № 2, с. 11—14.
- Alberta Government, 1969.* Reserves report, Oil and Gas Conservation Board.
- Alberta Research Council, 1963.* Athabasca oil sands: a symposium. K. A. Clark Vol., Information ser. 45.
- Alberta Soc. Petrol. Geologists, 1959.* Oil Fields of Alberta. 272 pp. Supplement. 1966. 136 pp.
- Alberta Soc. Petrol. Geologists, 1964.* Geological history of Western Canada.
- Ali O., 1973.* Stratigraphy of Lower Triassic sandstone of northwest Algerian Sahara, Algeria. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 57: 528—540.
- Allen J. R. L., 1965a.* Late Quaternary Niger. Delta and adjacent areas; sedimentary environments and lithofacies. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 49: 547—600.
- Allen J. R. L., 1965b.* Coastal geomorphology of eastern Nigeria — beach — ridge barrier islands and vegetated tidal flats. Geol. Mijnbouw, 27: 1—21.
- Allen J. R. L., 1965c.* A review of the origin and characteristics of Recent alluvial sediments. Sedimentology, 5: 191 pp.
- Allen J. R. L., 1965d.* The sedimentation and paleogeography of the Old Red Sandstone of Anglesey, North Wales. Proc. Yorkshire Geol. Soc., 35: 152.
- Allen J. R. L., 1970.* Sediments of the modern Niger Delta: a summary and review. in Deltaic sedimentation, modern and ancient. Morgan J. P. and Shaver R. H. (eds.). Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 15: 138—151.
- Allen J. R. L., 1970.* Physical processes of sedimentation. Allen and Unwin, London, 248 pp.
- Andresen M. J., 1962.* Paleodrainage patterns: their mapping from subsurface data, and their paleogeographic value. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 46: 398—405.
- Attia M. I., 1954.* Deposits in the Nile Valley and Delta of Egypt. Geol. Surv. Egypt, 356 pp.
- Azad J., Bhattacharyya S., Datta B. D. and Stevens T. E., 1971.* Hydrocarbon accumulation in the Nahorkatiya oilfield, Assam, in Geological and exploration. Proc. 8th World Petrol. Congr., 2: 259—268.
- Baars D. L., 1961.* Permian blanket sandstones of Colorado Plateau. in Geometry of sandstone bodies. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 179—219.
- Baars D. L. and Seager W. R., 1970.* Stratigraphic control of petroleum in White Rim Sandstone (Permian) in and near Canyonlands National Park, Utah. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 54: 709—718.
- Bagnold R. A., 1941.* The physics of blown sand and desert dunes. Methuen, London, 265 pp.
- Baker A. A., 1946.* Geology of the Green River Desert Cataract Canyon region, Emery, Wayne, and Garfield Counties, Utah. U. S. Geol. Surv., Bull., 951: 122 pp.
- Baker F. E., 1957.* History of the Salt Creek oil field. in Wyoming oil and gas fields: a symposium. Publ. Wyoming Geol. Assoc.

- Ball Associates Ltd.*, 1965. Surfare and shallow oil — impregnated rocks and shallow oil fields in the United States. U. S. Bur. Mines, Monograph, 12: 375 pp.
- Ball M. W.*, 1935. Athabaska oil sands: apparent example of local origin of oil. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 19: 153—171.
- Ball M. W., Weaver T. J., Crider H. D. and Ball D. S.*, 1941. Shoestring gas fields of Michigan, in Stratigraphic type oil fields. *Am. Assoc. Petrol. Geologist, Spec. Publ.*, 237—266.
- Barlow J. A. and Haun J. D.*, 1966. Regional stratigraphy of Frontier Formation and relation to Salt Creek Field. Wyoming. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 50: 2185—2196.
- Barrell J.*, 1912. Criteria for the recognition of ancient delta deposits. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 23: 377—466.
- Bartow J. A.*, 1966. Deep submarine channel in Upper Miocene, Orange County, California. *J. Sediment. Petrol.*, 36: 700—705.
- Bass N. W.*, 1934. Origin of Bartlesville shoestring sands, Greenwood and Butler Counties, Kansas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 18: 1313—1345.
- Bass N. W.*, 1936. Origin of shoestring sands of Greenwood and Butler Counties, Kansas. *Kansas. Geol. Surv., Bull.*, 23.
- Bass N. W.*, 1941. Significance of initial daily production of wells in Burbank and South Burbank oil fields, Oklahoma. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 25: 1175—1179.
- Bass N. W., Leathercock C., Dillard W. R. and Kennedy L. E.*, 1937. Origin and distribution of Bartlesville and Burbank shoestring oil sands in parts of Oklahoma and Kansas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 21: 30—66.
- Bates C. C.*, 1953. Rational theory of delta formation. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 37: 2119—2162.
- Bauer E. J.*, 1967. Genesis of Lower Cretaceous «A» Sandstone, Reconcavo Basin, Brazil. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 51: 28—54.
- Beach F. K.*, et al., 1961. Sedimentology of recent and fossil near shore deposits. *J. Can. Oil and Gas Industries*, July, 25—28.
- Beck E.*, 1929. Salt Creek oil field, Natrona County, Wyoming. in *Structure of typical American oil fields*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 2: 589—603.
- Beck R. H. and Lehner P.*, 1974. Oceans, new frontiers in exploration. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 58: 376—395.
- Beddoes L. R.*, 1973. Oil and gas fields of Australia, Papua New Guinea and New Zealand. *Tracer Petrol. and Mining Publ.*, Sydney, 382 pp.
- Beebe B. W. and Curtis B. F.* (eds.), 1968. Natural gases of North America. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Memoir*, 9: 2493 pp.
- Bein J., Griffith B. R. and Svalbe A. K.*, 1973. The Kingfish field — offshore Gippsland Basin. *Jour. Aust. Petrol. Expl. Assoc.*, 13: 68—72.
- Berg R. R.*, 1968. Point — bar origin of Fall River Sandstone reservoirs, northeastern Wyoming. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 2116—2122.
- Berg R. R. and Davies D. K.*, 1968. Origin of Lower Cretaceous Muddy Sandstone at Bell Creek Field, Montana. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 1888—1898.
- Bergantino R. N.*, 1971. Submarine regional geomorphology of the Gulf of Mexico. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 82: 741—752.
- Berger W. R.*, 1919. The extent and interpretation of the Hogshooter gas field. *Full. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 3: 212—216.
- Berger W. R.*, 1921. The relation between the structure and the production in the Sallpards field, Kansas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 5: 276—281.
- Bernard H. A.*, 1965. A résumé of river delta types. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Abstr.*, 49: 334—335.
- Bernard H. A., Major C. F. and Parrott B. S.*, 1959. The Galveston barrier island and environs: a model for predicting reservoir occurrence and trend. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, 9: 221—224.
- Bernard H. A., Le Blanc R. J. and Major C. F.*, 1962. Recent and Pleistocene geology of southwest Texas. in *Geology of Gulf Coast and central Texas*. *Houston Geol. Soc., Guidobook*, 175—224.

- Bernard H. A. and Major C. F.*, 1963. Recent meander belt deposits of the Brazos River: an alluvial 'sand' model. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, **Abstr.**, 47: 350.
- Bernard H. A. and Le Blanc R. J.*, 1965. Résumé of Quaternary geology of the northwestern Gulf of Mexico province. in *The Quaternary of the United States*: Princeton Univ. Press, 137—185.
- Bersier A.*, 1958. Séquences détritiques et divagations fluviales. *Eclogae Geol. Helvetiae*, 51: 854—893.
- Berven R. J.*, 1966. Cardium sandstone bodies, Crossfield — Garrington area, Alberta. *Bull. Canadian Petrol. Geol.*, 14: 208—240.
- Beutner E. C., Flueckinger L. A. and Gard T. M.*, 1967. Bedding geometry in a Pennsylvanian channel sandstone. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 78: 911—915.
- Bigarella J. J.*, 1972. Eolian environments: their characteristics, recognition, and importance. in *Recognition of ancient sedimentary environments*. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 16: 12—62.
- Billings Geol. Soc.*, 1958. Montana oil and gas fields.
- Billings Geol. Soc.* 1966. Jurassic and Cretaceous stratigraphic traps, Sweetgrass Arch: a symposium. *Guidebook, 17th Annual Field Conf.*
- Bishop M. S.*, 1960. *Subsurface mapping*. John Wiley and Sons, New York, 198 pp.
- Blackwelder E.*, 1928. Mudflow as a geologic agent in semiarid mountains. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 39: 465—483.
- Blatt H., Middleton G., and Murray R.*, 1972. *Origin of sedimentary rocks*. Prentice-Hall, Inc., 634 pp.
- Blissenbach E.*, 1954. Geology of alluvial fans in semi-arid regions. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 65: 175—190.
- Blixt J. E.*, 1941. Cut Bank oil and gas field, Glacier County, Montana. in *Stratigraphic type oil fields*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 327—381.
- Bloesch E.*, 1919. Unconformities and their importance in petroleum geology. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 3: 276.
- Boggs S.*, 1974. Sand-wave fields in Taiwan Strait. *Geology*, 2: 251—253.
- Bolyard D. W., and McGregor A. A.*, 1966. Stratigraphy and petroleum potential in Lower Cretaceous Inyan Kara Group in northeastern Wyoming, and western South Dakota. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 50: 2221—2244.
- Borden J. F. and Brant R. A.*, 1941. East Tuskegee Pool, Creek County, Oklahoma. in *Stratigraphic type oil fields*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 436—455.
- Bornhauser M.*, 1948. Possible ancient submarine canyon in southwestern Louisiana. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 32: 2287—2294.
- Boyd D. R., and Dyer B. F.*, 1964. Frio barrier bar system of South Texas. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, 14: 309—322.
- Botvinkina L. N. and Yablokov V. S.*, 1964. Specific features of deltaic deposits in coal-bearing and cupriferous formations. in *Deltaic and shallow marine deposits*. Elsevier, Amsterdam: 39—47.
- Braunstein J.*, (compiled by), 1974. Facies and the reconstruction of environments. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Reprint Ser.*, 10: 224 pp.
- Brenner R. L. and Davies D. K.*, 1974. Oxfordian sedimentation in western interior United States. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 58: 407—428.
- Brice J. C.*, 1964. Channel pattern and terraces of the Loup Rivers in Nebraska. *U. S. Geol. Surv., Profess. Pap.*, 422 — D, 41 pp.
- Brouwer A.*, 1953. Rhythmic depositional features of the East Surinam coastal plain. *Geol. Mijnbouw*, 15: 226—236.
- Brown L. F., et al.*, 1967. Role of compaction in development of geometry of superposed elongate sandstone bodies. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 51: 455—456.
- Brown L. F.*, 1969. Geometry and distribution of fluvial deltaic sandstones (Pennsylvanian and Permian) north-central Texas. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, 19.
- Bull W. B.*, 1968. Alluvial fans. *Jour. Geol. Educ.*, 16: 101—106.
- Bull W. B.*, 1972. Recognition of alluvial-fan deposits in the stratigraphic

record. in Recognition of ancient sedimentary environments. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 16: 63—83.

Burke K., 1972. Longshore drift, submarine canyons, and submarine fans in development of Niger Delta. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 56: 1975—1983.

Busch D. A., 1950. Applied sedimentation. John Wiley and Sons, New York, 559 pp.

Busch D. A., 1953. The significance of deltas in subsurface exploration. Tulsa Geol. Soc., Digest, 21: 71—80.

Busch D. A., 1959. Prospecting for stratigraphic traps. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 43: 2829—2843.

Busch D. A., 1961. Make the most of those electric logs if you want to find strat traps. Oil and Gas Jour., 59: 162—167.

Busch D. A., 1971. Genetic units in delta prospecting. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 55: 1137—1154.

Busch D. A., 1974. Stratigraphic traps in sandstone—exploration techniques. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 21: 190 pp.

Cadman W. K., 1927. The Golden Lanes of Greenwood County, Kansas. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 11: 1151—1172.

Cartwright D. E., 1959. On submarine sand-waves and tidal lee-waves. Proc. Royal Soc., Series A, 253: 218—241.

✓ *Carrigy M. A.*, 1971. Deltaic sedimentation in Athabasca tar sands. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 55: 1155—1169.

Carrigy M. A., and *Zamora, W. J.*, 1960. The Athabasca oil sands. in Alberta Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 38—49.

Casey S. R. and *Cantrell R. B.*, 1941. Davis sand lens, Hardin field, Liberty County, Texas, in Stratigraphic type oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 564—599.

Chapman R. E., 1973. Petroleum geology, a concise study. Elsevier, Amsterdam, 304 pp.

Charles H. H., 1941. Buch City oil field, Anderson County, Kansas, in Stratigraphic type oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 43—56.

Cheyney A. E., 1929. Madison Shoestring Pool, Greenwood County, Kansas. in Structure of typical American oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 150—159.

Chilton J. R., 1959. Red Earth Field. in Oilfields of Alberta. Alberta. Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 178—179.

Chowdhury M. I., 1966. On the gradual shifting of the Ganges from west to east in delta-building operations. In Scientific problems of the humid tropical zone deltas and their implications. UNESCO, Proc. Dacca Symposium, 35—40.

Christie H. H., 1971. Mitsue oil field: a rich stratigraphic trap. in Geological and exploration. Proc. 8th World Petrol. Congr., 2: 269—274.

Clark D. A., 1961. Primary structures of the Halfway Sand in the Milligan Creek oil field, British Columbia. J. Alberta Soc. Petrol. Geologists, 9: 109—130.

Clark R. H., and *Rouse J. T.*, 1971. A closed system for generation and entrapment of hydrocarbons in Cenozoic deltas, Louisiana Gulf Coast. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 55: 1170—1178.

Cleavinger H. B., 1974. Paleoenvironments of deposition of the Upper Cretaceous Ferron Sandstone near Emery, Emery County, Utah. Brigham Young Univ., Geol., Studies, 21: 247—274.

Coastal Research Group, 1969. Coastal environments of northeastern Massachusetts and New Hampshire. Dept. Geol. Univ. Mass., C. R. G. Contribution, 1.

Coleman J. M. and *Gagliano S. M.*, 1965. Sedimentary structures, Mississippi River deltaic plains. in Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation: a symposium. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 12: 133—148.

Coleman J. M., 1969. Brahmaputra River: channel processes and sedimentation. Sediment. Geol., 3: 132—239.

- Colley B. B.*, 1963. Libya: petroleum geology and development. 6th World Petrol. Congr., Frankfurt, Section 1, 43: 10 pp.
- Conant L. C. and Goudarzi G. H.*, 1967. Stratigraphic and tectonic framework of Libya. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 51: 719—730.
- Conatser W. E.*, 1971. Grande Isle: a barrier island in the Gulf of Mexico. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 82: 3049—3068.
- Conolly J. R.*, 1968. Submarine canyons of the continental margin, east Bass Strait (Australia). Marine Geol., 6: 449—461.
- Conolly J. R. and Cleary W. J.*, 1971. Braided deep sea deltas and the origin of turbidite sands (Abstr.). Trans. Am. Geophys. Union, 52: 244.
- Conybeare C. E. B.*, 1964. Oil accumulation in alluvial stratigraphic traps. Aust. Oil and Gas J., 10: 44—48.
- Conybeare C. E. B.*, 1966. Origin of Athabasca oil sands: a review. Bull. Can. Petrol. Geol., 14: 145—163.
- Conybeare C. E. B.*, 1967. Influence of compaction on stratigraphic analysis. Bull. Can. Petrol. Geol., 15: 331—345.
- Conybeare C. E. B.*, 1970. Solubility and mobility of petroleum under hydrodynamic conditions, Surat Basin, Queensland. J. Geol. Soc. Aust., 16: 667—681.
- Conybeare C. E. B.*, 1972. Petroleum accumulations in ancient river sands: a paleogeographic view. Trans. 24th International Geol. Congr., 5: 59—74.
- Conybeare C. E. B. and Crook K. A. W.*, 1968. Manual of sedimentary structures. Bull. Bur. Min. Resources, Canberra, 102: 327 pp.
- Conybeare C. E. B. and Jessop R. G. C.*, 1972. Exploration for oil-bearing sand trends in the Fly River area, western Papua. J. Aust. Petrol. Exploration Assoc., 12: 69—73.
- Cope, R. N.*, 1972. Petroleum development and production in Western Australia in 1971. Geol. Survey W. A., Annual Report, 1971, 43—44.
- Cotter E.*, 1971. Paleoflow characteristics of a late Cretaceous river in Utah from analysis of sedimentary structures in the Ferron Sandstone. J. Sediment. Petrol., 41: 129—138.
- Craft W. E.*, 1966. Channel sands are the key to Wilcox oil. Oil and Gas J., April, 124—130.
- Cram I. H.* (Editor), 1971. Future petroleum provinces of the United States — and their geology and potential. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 15: 1496 pp.
- Crickmay C. H.*, 1955. Delta formation. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists., 39: 107—114.
- Crosby E. J.*, 1972. Classification of sedimentary environments. In Recognition of sedimentary environments. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 16: 4—11.
- Crowell J. C.*, 1952. Submarine canyons bordering central and southern California. J. Geol., 60: 58—83.
- Curry J. R.*, 1964. Transgressions and regressions. in Papers in marine geology. MacMillan, New York, 175—203.
- Curry J. R. and Moore D. G.*, 1971. Growth of the Bengal deep-sea fan and denudation in the Himalayas. Bull. Geol. Soc. Am., 82: 563—572.
- Curry W. H. and Curry W. H. III*, 1954. South Glenrock, a Wyoming stratigraphic oil field. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 38: 2119—2156.
- ✓ *Curry W. H. and Curry W. H. III*, 1972. South Glenrock oil field, Wyoming: pre-discovery thinking and post-discovery description. in Stratigraphic oil and gas fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 16: 415—427.
- Curtis B. F.* et al., 1961. Characteristics of sandstone reservoirs in United States. in Geometry of sandstone bodies. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 208—219.
- Dapples E. C.*, 1947. Sandstone types and their associated depositional environments. J. Sediment. Petrol., 17: 91—100.
- Dapples E. C.*, 1955. General lithofacies relationship of St Peter Sandstone and Simpson Group. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 39: 444—467.
- Davies D. K. and Berg R. R.*, 1969. Sedimentary characteristics of Muddy

barrier-bar reservoir and lagoonal trap at Bell Creek field. Montana Geol. Soc., 20th Annual Field Conf., Guidebook, 97—105.

Davies D. K., Ethridge F. G. and Berg R. R., 1971. Recognition of barrier environments. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 55: 550—565.

Davis J. R., 1971. Sedimentation of Pliocene sandstones in Santa Barbara Channel, California (Abstr.). Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 55: 335.

Davis R. A. and Fox W. T., 1972. Coastal processes and nearshore sand bars. J. Sediment. Petrol., 42: 401—412.

De Almeida F. F. M., 1953. Botucatu, a Triassic desert of South America. Trans. 19th International Geol. Congr., Algiers, 7: 9—24.

Dennison J. M., 1971. Petroleum related to Middle and Upper Devonian deltaic facies in central Appalachians. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 55: 1179—1193.

Derr M., 1974. Sedimentary structure and depositional environment of paleochannels in the Jurassic Morrison Formation near Green River, Utah. Brigham Young Univ., Geol. Studies, 21: 3—39.

De Vries J. J. and van Rees Vellinga E., 1972. Buried channel aquifers and present open drainage system of East Gelderland. Ede Netherlands. Geol. Mijnbouw, 51: 45—52.

Dickas A. B. and Payne J. L., 1967. Upper Paleocene buried channel in Sacramento Valley, California. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 51: 873—882.

Dickey P. A. and Rohn R. E., 1958. Facies control of oil occurrence. in Habitat of oil. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 721—734.

Dickinson K. A., Berryhill H. L. and Holmes C. W., 1972. Criteria for recognizing ancient barrier coastlines. in Recognition of ancient sedimentary environments. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 16: 192—214.

Dillard W. R., 1941. Olymic Pool. Hughes and Okfusku Counties, Oklahoma. in Stratigraphic type oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 456—472.

Dillard W. R., Oak D. P. and Bass N. W., 1941. Chanute oil pool, Neosho County, Kansas—a water-flooding operation. in Stratigraphic type oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 57—77.

Dingle R. V., 1971. Buried tunnel valleys off the Northumberland coast, western North Sea. Geol. Mijnbouw, 50: 679—686.

Dodge C. F., 1965. Genesis of an Upper Cretaceous offshore bar near Arlington, Texas. J. Sediment. Petrol., 35: 22—35.

Dolly E. D. and Busch D. A., 1973. Stratigraphic, structural, and geomorphic factors controlling oil accumulation in Upper Cambrian strata of central Ohio. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 56: 2335—2368.

Donaldson A. C., 1966. Deltaic sands and sandstones. in Symposium on recently developed principles and sedimentation of the Permo-Pennsylvanian of the Rocky Mountains. Wyoming Geol. Assoc., 20th Annual Field Conf., Guidebook, 31—62.

Donovan D. T., 1968. Geology of shelf seas. Proc. 14th Inter-Univ. Geol. Congr., Oliver and Boyd, London, 160 pp.

Doty R. W. and Hubert J. F., 1962. Petrology and paleogeography of the Warrensburg channel sandstone, western Missouri. Sedimentology, 1: 7—39.

Dott R. H., and Reynolds M. J., 1969. Sourcebook for petroleum geology. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem. 5: 471 pp.

Dott R. H. and Shaver R. H., 1974. Modern and ancient geosynclinal sedimentation. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 19: 380 pp.

Dowd J. P., 1964. Application of information theory in establishing oil field trends. in Computers in the mineral industries. Stanford Univ. Publ., 577—610.

Dupuy J. P., Oswaldt G. and Sens J., 1963. Champ de Cazaux — géologie et production. Proc. 6th World Petrol. Congr., Frankfurt am Main, 2: 199—212.

Dury G. H. (Editor), 1970. Rivers and river terraces. Mac Millan and Co., London, 283 pp.

Edelman C. H., 1956. Sedimentology of the Rhine and Meuse deltas as an example of the sedimentology of the Carboniferous. Geol. Mijnbouw, 16: 64—75.

- Egorov V. V.*, 1966. Main structural features of the great deltas in the territory of the USSR. In Scientific problems of the humid tropical zone deltas and their implications. UNESCO, Proc. Dacca Symposium, p. 393—397.
- El-Shazly E. M.* and *Miroslaw K.*, 1973. Paleogeography and paleomagnetism of the Nubian Sandstone, eastern desert of Egypt. *Geol. Rundsch.*, 62: 212—225.
- El-Tarabili E.* and *Adawy N.*, 1972. Geologic history of Nukhul-Baba area, Gulf of Suez, Sinai, Egypt, *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 56: 882—902.
- Emery K. O.*, 1960. The sea off California, a modern habitat of petroleum. John Wiley and Sons, New York, 366 pp.
- Emery K. O.* and *Uchupi E.*, 1972. Western North Atlantic Ocean: topography, rocks, structure, water, life, and sediments. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem.*, 17: 532 pp.
- Evans O. F.*, 1943. The origin of spits, bars, and related structures. *J. Geol.*, 20: 846—865.
- Evans W. E.*, 1970. Imbricate linear sandstone bodies in Viking Formation in Dodsland-Hoosier area of southwestern Saskatchewan, Canada. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 54: 469—486.
- Exum F. A.*, 1973. Lithologic gradients in marine bar, Cadeville Sand, Calhoun Field, Louisiana. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 57: 301—320.
- Exum F. A.* and *Harms J. C.*, 1968. Comparison of marine-bar with valley-fill stratigraphic traps, western Nebraska. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 1851—1868.
- Fairbridge R. W.* (Editor), 1968. The encyclopedia of geomorphology. Reinhold, New York, 1295 pp.
- Fentress G. H.*, 1955. Little Beaver field, Colorado, a stratigraphic, structural, and sedimentation problem. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 39: 155—188.
- Ferm J. C.*, 1970. Allegheny deltaic deposits. in Deltaic sedimentation, modern and ancient. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 15: 246—255.
- Fettke C. R.*, 1941. Music Mountain oil pool, McLean County, Pennsylvania. in Stratigraphic type oil fields. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 492—506.
- Fisher W. L.*, 1969. Facies characterization of Gulf Coast Basin delta systems, with some Holocene analogues. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, 19.
- Fisher W. L., Brown, L. F., Scott A. J.* and *McGowen J. H.*, 1969. Delta systems and oil and gas occurrence, in Delta systems in exploration for oil and gas. *Univ. Texas, Bur. Econ. Geol. Publ.*, 54—66.
- Fisher W. L.* and *McGowen J. H.*, 1969. Depositional systems in Wilcox Group (Eocene) of Texas and their relation to occurrence of oil and gas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 53: 30—54.
- Fisk H. N.*, 1944. Geological investigation of the alluvial valley of the lower Mississippi River. *Miss. R. Commission Report*.
- Fisk H. N.*, 1947. Fine-grained alluvial deposits and their effects on Mississippi River activity. *Miss. R. Commission Report*.
- Fisk H. N.*, 1958. Recent Mississippi River sedimentation and peat accumulation. 4th Congr. pour l'avancement des études de stratigraphie et de géologie du Carbonifère, *Compte rendu*, 1: 187—199.
- Fisk H. N.*, 1961. Bar-finger sands of Mississippi delta. in Geometry of sandstone bodies: a symposium. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 29—52.
- Fisk H. N., et al.*, 1954. Sedimentary framework of the modern Mississippi delta. *J. Sediment. Petrol.*, 24: 76—99.
- Flawn P. T.*, 1965. Basement — not the bottom but the beginning. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 49: 883—886.
- Flores R. M.*, 1974. Characteristics of the Pennsylvanian Lower-Middle Haumond delta-iron sandstones, Marathon Basin, West Texas. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 85: 709—716.
- Forgotson J. M.*, 1957. Nature, usage and definition of marker defined ver-

- tically segregated rock units. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 41: 2108—2113.
- Forgotson J. M. and Stark P. H.*, 1972. Well-data files and the computer, a case history from northern Rocky Mountains. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 56: 1114—1127.
- Fränkl E. J. and Cordry E. A.*, 1967. The Niger delta oil province: recent developments offshore and onshore. *Proc. 7th World Petrol. Congr., Mexico*, 2: 196—209.
- Freeman J. C.*, 1949. Strandline accumulation of petroleum, Jim Hogg County, Texas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 33: 1260—1270.
- Friedman G. M.*, 1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *J. Sediment. Petrol.*, 31: 514—529.
- Friedman S. A.*, 1960. Channel-fill sandstones in the Middle Pennsylvanian rocks of Indiana. *Indiana Geol. Surv., Progress Report*, 23: 59 pp.
- Fritz A. J.*, 1968. Typical lenticular sandstone development and oil entrapment, in *Geology and petroleum production of the Illinois basin: a symposium*. Illinois and Indiana-Kentucky Geol. Soc., Spec. Publ., 23—28.
- Gagliano S. M. and McIntire W. G.*, 1968a. Reports on the **Mekong River delta**. Louisiana State Univ., Coastal Studies Inst., Tech. Report, 57: 143 pp.
- Gagliano S. M. and McIntire W. G.*, 1968b. Delta components in Recent and Ancient deltaic sedimentation: a comparison. Louisiana State Univ., Coastal Studies Inst., Report.
- Galloway W. E.*, 1969. Late Pennsylvanian shelf sediments, north-central Texas. *Dallas Geol. Soc., Guidebook*.
- Galloway W. E., and Brown L. E.*, 1973. Depositional systems and shelf-slope relations on cratonic basin margin, uppermost Pennsylvanian of north-central Texas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 57: 1185—1218.
- Gammell H. G.*, 1955. The Viking member in central Alberta. *Bull. Canadian Petrol. Geol.*, 3: 63—69.
- Gatehouse C. G.*, 1972. Formations of the Gidgealpa Group in the Cooper Basin. *Australasian Oil and Gas Review*, 18: 10—15.
- Glaister R. P.*, 1959. Lower Cretaceous of southern Alberta and adjoining areas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 43: 590—640.
- Glennie K. W.*, 1970. Desert sedimentary environments. Elsevier, *Developments in sedimentology*, 14: 222 pp.
- Glennie K. W.*, 1972. Permian Rotliegendes of northwest Europe interpreted in light of modern desert sedimentation studies. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 56: 1048—1071.
- Goodlet G. A.*, 1959. Mid-Carboniferous sedimentation in the Midland Valley of Scotland. *Trans. Edinburgh Geol. Soc.*, 17: 217—240.
- Gould H. R.*, 1970. The Mississippi delta complex, in *Deltaic sedimentation, modern and ancient*. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 15: 3—30.
- Gould H. R. and Morgan J. P.*, 1962. Coastal Louisiana swamps and marshlands, in *Geology of the Gulf Coast and central Texas*. Houston Geol. Soc., Spec. Publ.
- Gradstein F. M. and van Gelder A.*, 1971. Prograding clastic fans and transition from a fluvial to a marine environment in Neogene deposits of eastern Crete. *Geol. Mijnbouw*, 50: 383—392.
- Gray A. R. G.*, 1969. Pickanjinie gas field. Queensland Geol. Surv., Report, 33.
- Greensmith J. T.*, 1966. Carboniferous deltaic sedimentation in eastern Scotland: a review and reappraisal, in *Deltas in their geologic framework*. Houston Geol. Soc., Spec. Publ., 189—211.
- Greer W. J.*, 1965. The Gidgealpa gas field. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 5: 65—68.
- Gregg J. W. and Wahl J.*, 1964. Performance history of the Pembina Cardium pool, Alberta, Canada. *Proc. 6th World Petrol. Congr., Frankfurt am Main*, 2: 415—449.
- Gregory J. L.*, 1966. A lower Oligocene delta in the subsurface of southeastern Texas. *Trans. Gulf Coast Geol. Soc.*, 16: 227—241.

- Griffith B. R. and Hodgson E. A.*, 1971. Offshore Gipsland Basin fields. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 11: 85—89.
- Griffith E. G.*, 1963. Prospecting for 'D' channel sand production. in *Geology of the northern Denver Basin and adjacent uplifts*. Rocky Mountains Assoc. Geologists, Spec. Publ., 229—234.
- Griffith E. G.*, 1966. *Geology of the Saber Bar, Logan and Weld Counties*. Colorado. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 50: 2112—2118.
- Griffith J. C.*, 1967. *Scientific method in analysis of sediments*. McGraw—Hill, New York, 508 pp.
- Griggs G. B. and Kulm L. D.*, 1970. Sedimentation in Cascadia deep-sea channel. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 81: 1361—1384.
- Groen D. M. W. te and Steenken W. F.*, 1968. Exploration and delineation of the Groningen gas field. *Koninkl. Nederlands Geol. Mij. Gen. Verh. Geol. Ser.*, 25: 9—20.
- Guilcher A.*, 1958. *Coastal and submarine morphology*. Methuen and Co., London, 274 pp.
- Gussow W. C.*, 1953. Differential trapping of hydrocarbons. *Bull. Alberta Soc. Petrol. Geologists*, 1: 4—5.
- Gussow W. C.*, 1956. Athabasca bituminous sands. in *Symposium sobre yacimientos de petroleo y gas, America del Norte*. Proc. 20th Intl. Geol. Geogr., Mexico, 3: 68—70.
- Halbouty M. T.*, 1966. Stratigraphic-trap possibilities in Upper Jurassic rocks, San Marcos arch, Texas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 50: 3—24.
- Halbouty M. T.*, 1968. Giant oil and gas fields in United States. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 1115—1151.
- Halbouty M. T.*, 1969. Hidden trends and subtle traps in Gulf Coast. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 53: 3—29.
- Halbouty M. T.* (Editor), 1970. *Geology of giant petroleum fields*. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 14: 575 pp.
- Halbouty M. T.*, et al., 1970. World's giant oil and gas fields, geologic factors affecting their formation, and basin classification. in *Geology of giant petroleum fields*. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 14: 502—555.
- Hall D. H. and Hajnal Z.*, 1962. The gravimeter in studies of buried hills. *Geophysics*, 27: 939—951.
- Harbaugh J. W. and Bonham-Carter G.*, 1970. *Computer simulating in geology*. John Wiley and Sons, New York, 575 pp.
- Hargreaves G. E.*, et al., (Editors), 1960. *Lexicon of geologic names in the Western Canada sedimentary basin and Arctic archipelago*. Alberta Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 380 pp.
- Harms J. C.*, 1966. Stratigraphic traps in valley fill, Western Nebraska. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 50: 2119—2149.
- Harris C. D.*, 1971. Annotated world list of selected current geographical serials. Univ. Chicago, Research Paper, 3rd Edit., 137.
- Hartman J. A.*, 1972. G2 channel sandstone, Main Pass, Block 35 field, offshore Louisiana. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 56: 554—558.
- Haun J. D.*, 1965. Cretaceous deltas in the Denver basin and relationship to petroleum (Abstract). *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 49: 344.
- Heck E. T.*, 1941. Gay-Spencer-Richardson oil and gas trend, Jackson, Roane and Calhoun Counties, West Virginia. in *Stratigraphic type oil fields*. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 806—829.
- Hedberg H. D.*, 1964. Geologic aspects of origin of petroleum. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 48: 1755—1803.
- Hedberg H. D.*, 1968. Significance of high-wax oils with respect to genesis of petroleum. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 736—750.
- Hedberg H. D.*, 1970. Continental margins from viewpoint of the petroleum geologist. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 54: 3—43.
- Heezen B. C., Menzies R. J., Schneider E. D., Ewing W. M. and Graneli N. C. L.*, 1964. Congo submarine canyon. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 48: 1126—1149.

- Heezen B. C. and Hollister C. D.*, 1971. The face of the deep. Oxford Univ. Press, 659 pp.
- Hertel F. W.*, 1929. Ventura Avenue oil field, Ventura County, California. In Structure of typical American oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 2: 23—43.
- Hickin E. J.*, 1974. The development of meanders in natural river-channels. Am. J. Science, 274: 414—442.
- Hilpman P.*, 1958. Producing zones of Kansas oil and gas fields. Kansas Geol. Surv., Oil and Gas Investigation, 16.
- Hinton G.*, 1968. Recluse oil field. Wyoming Geol. Surv., 20th Annual Field Conf., Guidebook, 73—78.
- Holeman J. N.*, 1968. The sediment yield of the major rivers of the world. Water Resources Research, 4: 737—747.
- Hollenshead C. T. and Pritchard R. L.*, 1961. Geometry of producing Mesa-verde sandstones, San Juan Basin, in Geometry of sandstone bodies. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 98—118.
- Holmes D. W. and Oliver T. A.*, 1973. Source and depositional environments of the Moose Channel Formation, Northwest Territories. Bull. Canadian. Petrol. Geol., 21: 435—478.
- Hoorn B. van*, 1969. Submarine canyon and fan deposits in the Upper Cretaceous of the south-central Pyrenees, Spain. Geol. Mijnbouw, 48: 67—72.
- Hopkins M. E.*, 1958. Geology and petrology of the Anvil Rock Sandstone of southern Illinois. Illinois Geol. Surv., Circular, 256: 49 pp.
- Hosemann P.*, 1971. The stratigraphy of the basal Triassic sandstone, north Perth Basin, Western Australia. J. Aust. Petrol. Exploration Assoc., 11: 59—63.
- Houbolt J. J. H. C.*, 1968. Recent sediments in the southern bight of the North Sea. Geol. Mijnbouw, 47: 245—273.
- Hough J. L.* (Editor), 1951. Turbidity currents and transportation of coarse sediments to deep water—a symposium. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 2: 107 pp.
- Hough J. L. and Menard H. W.* (Editors), 1956. Finding ancient shorelines—a symposium. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 3: 129 pp.
- Howard L. W. and Schoewe W. H.*, 1965. The Englevale channel sandstone. Trans. Kansas Acad. Science, 68: 88—106.
- Hoyt W. V.*, 1959. Erosional channel in the Middle Wilcox near Yoakum, Lavaca County, Texas. Trans. Gulf Coast Geol. Soc., 9: 41—50.
- Hoyt J. H.*, 1967. Barrier island formation. Bull. Geol. Soc. Am., 78: 1125—1136.
- Hoyt J. H.*, 1969. Chenier versus barrier, genetic and stratigraphic distinction. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 53: 299—306.
- Hoyt J. H. and Weiner R. J.*, 1963. Comparison of modern and ancient beaches, central Georgia coast. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 47: 529—531.
- Hoyt J. H. and Henry V. J.*, 1965. Significance of inlet sedimentation in recognition of ancient barrier islands. Wyoming Geol. Surv., 19th Annual Field Conf., Guidebook, 190—194.
- Hubbard B.*, 1950. Coal as a possible source rock. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 34: 2437—2451.
- Hunter G. M.*, 1966. Red Earth field, A and C pools, in Oilfields of Alberta: supplement. Alberta Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 85—86.
- Ingle J. C.*, 1966. The movement of beach sand. Elsevier, Developments in sedimentology, 221 pp.
- Issawi B.*, 1972. Review of Upper Cretaceous-Lower Tertiary stratigraphy in central and southern Egypt. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 56: 1448—1463.
- Jacob A. F.*, 1973a. Elongate concretions as paleochannel indicators, Tongue River Formation (Paleocene). North Dakota. Bull. Geol. Soc. Am., 84: 2127—2132.
- Jacob A. F.*, 1973b. Depositional environments of Paleocene Tongue River Formation, western North Dakota. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 57: 1038—1052.

- James E. A. and Evans P. R.*, 1971. The stratigraphy of the offshore Gippsland Basin. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 11: 71—74.
- Javeri Y. A.*, 1966. Crossfield field. in *Oilfields of Alberta*. Alberta Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 272 pp.
- Johnson D. W.*, 1959. Shore processes and shoreline development. John Wiley and Sons, New York, 584 pp.
- Johnson W. A.*, 1922. The character of the stratification of the sediments in the recent delta of the Fraser River delta, British Columbia, Canada. *J. Geol.*, 30: 115—129.
- Kapel A. J.*, 1966. The Cooper's Creek Basin. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 6: 71—75.
- Kapel A. J.*, 1972. The geology of the Patchawarra area, Cooper Basin. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 12: 53—57.
- Keller E. A.*, 1972. Development of alluvial stream channels: a five-stage model. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 83: 1531—1536.
- Kelly T. E.*, 1968. Gas accumulations in non-marine strata, Cook Inlet Basin, Alaska. in *Natural gases of North America*. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 9: 49—64.
- Kent P. E.*, 1967. Progress of exploration in North Sea. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 51: 731—741.
- Kent P. E. and Walmsby P. J.*, 1970. North Sea progress. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 54: 168—181.
- Kessler L. G.*, 1974. Braided rivers and related terrigenous depositional systems — useful but enigmatic exploration models (Abstract). *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 58: 914.
- King C. A. M.*, 1963. Introduction to oceanography. McGraw-Hill Book Co., New York, 337 pp.
- King R. E.* (Editor), 1972. Stratigraphic oil and gas fields — classification, exploration methods, and case histories. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 16: 696 pp.
- Klein G. de Vries*, 1974. Estimating water depth from analysis of barrier island and deltaic sedimentary sequences. *Geology*, 2: 409—412.
- Klinger R. and Ash R.*, 1967. Geologic studies can project stratigraphic trap trends. *World Oil*, Feb., 65—70.
- Knight W. V. and Budd H.*, 1959. Horseshoe Canyon-Gallup field, a preliminary report. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Rocky Mountains Sec., Geol. Record, 107—111.
- Koch G. S. and Link R. F.*, 1970. Statistical analysis of geological data. John Wiley and Sons, New York.
- Kolb C. R. and van Lopik J. R.*, 1966. Depositional environments of the Mississippi River deltaic plain, southeastern Louisiana. in *Deltas in their geologic framework*. Houston Geol. Soc., Spec., Publ., 17—61.
- Kornfeld J. A.*, 1973. Colorado's Wattenberg Field, hottest Rockies drilling area. *World Oil*, 177: 92—94.
- Kraft J. C.*, 1971. Sedimentary environment facies patterns and geologic history of a Holocene marine transgression. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 82: 2131—2158.
- Kraft J. C., Sheridan R. E. and Maisano M.*, 1971. Time-stratigraphic units and petroleum entrapment models in Baltimore Canyon Basin and Atlantic continental margin geosynclines. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 55: 658—679.
- Kranzler I.*, 1966. Origin of oil in lower member of Tyler Formation of central Montana. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 50: 2245—2259.
- Krueger M. L.*, 1968. Occurrence of natural gas in Green River Basin, Wyoming. in *Natural gases of North America*. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 9: 780—797.
- Krueger W. C.*, 1968. Depositional environments of sandstones as interpreted from electrical measurements — an introduction. *Trans. Gulf Coast Geol. Soc.*, 18: 226—241.
- Kruit C.*, 1963. Is the Rhine delta a delta? *Kon. Nederlands Geol. Mijnbouw, Gen. Verhand.* 21: 259—266.

- Krumbein W. C.*, 1945. Recent sedimentation and the search for petroleum. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 29: 1233—1261.
- Krumbein W. C.*, 1948. Lithofacies maps and regional sedimentary-stratigraphic analysis. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 32: 1909—1923.
- Krumbein W. C.* and *Monk G. D.*, 1942. Permeability as a function of size parameters of unconsolidated sands. Petrol. Technology. Technical Publ., 1492.
- Krumbein W. C.*, and *Stoss L. L.*, 1963. Stratigraphy and sedimentation. W. H. Freeman and Co., San Francisco, 660 pp.
- Kuenen Ph. H.*, 1950. Marine geology. John Wiley and Sons, New York, 568 pp.
- Kuenen Ph. H.*, 1953. Origin and classification of submarine canyons. Bull. Geol. Soc. Am., 64: 1295—1314.
- Kuenen Ph. H.*, 1957. Review of marine sand-transporting mechanisms. J. Alberta Soc. Petrol. Geologists, 5: 59—63.
- Kukal Z.*, 1971. Geology of recent sediments. Academic Press, New York, 490 pp.
- Lador J. M.*, 1971. Libya. in Petroleum developments in North Africa in 1970. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 55: 1541—1549.
- Lagaaij R.* and *Kopstein R. P. H.*, 1964. Typical features of a fluvio-marine oflap sequence. in Deltaic and shallow marine deposits. Elsevier, Amsterdam, 216—226.
- Länd C. B.*, 1972. Stratigraphy of Fox Hills Sandstone and the associated formations, Rock Springs Uplift and Wamsutter Arch area, Sweetwater County, Wyoming: a shoreline—estuary sandstone model for the Late Cretaceous. Quarterly J. Colorado Sch. Mines, 67: 69 pp.
- Landes K. K.*, 1970. Petroleum geology of the United States. John Wiley and Sons, New York, 571 pp.
- Lane D. W.*, 1963. Sedimentary environments in Cretaceous Dakota Sandstone in northwestern Colorado. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 47: 229—256.
- Laporte L. F.*, 1968. Ancient environments. Prentice-Hall, 116 pp.
- Le Blanc R.*, 1972. Geometry of sandstone reservoir bodies. in Underground waste management and environmental implications. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 18: 133—190.
- Lee W.*, 1938. Stratigraphy of the Cisco Group of the Brazos Basin. in Stratigraphic and paleontologic studies of the Pennsylvanian and Permian rocks in north-central Texas. Univ. Texas, Publ., 3801: 11—90.
- Leeder M. R.*, 1973. Fluvialite fining-upwards cycles and the magnitude of paleochannels. Geol. Mag., 110: 265—276.
- Lené G. W.* and *Owen D. E.*, 1969. Grain orientation in a Berea Sandstone channel at South Amherst, Ohio. J. Sediment. Petrol., 39: 737—743.
- Leontyev O. K.*, 1969. Flandrean transgression and the genesis of barrier bars. in Quaternary geology and climate. National Acad. Sciences, New York, Spec. Publ., p. 146—149.
- Leontyev O. K.*, and *Nikiforov L. G.*, 1966. An approach to the problem of the origin of barrier bars. 2nd Intl. Oceanographic Congr., Abstr. Pap., p. 221—222.
- Leopold L. B.* and *Maddock T.*, 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. U. S. Geol. Surv., Profess. Pap., 252.
- Leopold L. B.* and *Wolman M. G.*, 1960. River meanders. Bull. Geol. Soc. Am., 71: 769—794.
- Leopold L. B.*, *Wolman M. G.* and *Miller J. P.*, 1964. Fluvial processes in geomorphology. W. H. Freeman and Co., San Francisco, 522 pp.
- Lessentine R. H.*, 1965. Kaiparowits and Black Mesa Basins, stratigraphic synthesis. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 49: 1997—2019.
- Levorsen A. I.*, 1933. Studies in paleogeology. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 17: 1107—1132.
- Levorsen A. I.*, 1936. Stratigraphic versus structural accumulation. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 20: 521—530.
- Levorsen A. I.* (Editor), 1941. Stratigraphic type oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 902 pp.

- Levorsen A. I.*, 1966. The obscure and subtle trap. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 50: 2058—2067.
- Levorsen A. I.*, 1967. *Geology of petroleum* (2nd ed.). W. H. Freeman and Co., San Francisco, 724 pp.
- Lewis J. D.*, 1929. Delaware Extension Pool, Nowata County, Oklahoma. in *Structures of typical American oil fields*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 362—364.
- Ley H. A.* (Editor), 1935. *Geology of natural gas: a symposium*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 1227 pp.
- Lobeck A. K.*, 1939. *Geomorphology*, an introduction to the study of landscapes. McGraw Hill, New York, 731 pp.
- Ludwick J. C.*, 1974. Tidal currents and zig-zag sand shoals in a wide estuary entrance. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 85: 717—726.
- Lumsden D. N., Pittman E. D. and Buchanan, R. S.* 1971. Sedimentation and petrology of Spiro and Foster Sands (Pennsylvanian), McAlester Basin, Oklahoma. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 55: 254—266.
- Lyons P. L. and Dobrin M. B.*, 1972. Seismic exploration for stratigraphic traps. in *Stratigraphic oil and gas fields*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem.*, 16: 225—243.
- Machatschek F.*, 1969. *Geomorphology* (9th ed.). Oliver and Boyd, Edinburgh, 212 pp.
- Mackay J. R.*, 1963. The Mackenzie delta area. *N. W. T. Geol. Surv. Canada, Mem.*, 8.
- MacKenzie D. B.*, 1965. Depositional environments of Muddy Sandstone, western Denver Basin, Colorado. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 49: 186—206.
- MacKenzie D. B.*, 1972. Primary stratigraphic traps in sandstone. in *Stratigraphic oil and gas fields*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem.*, 16: 47—63.
- Magleby D. C., and Klein I. E.*, 1965. Ground-water conditions and potential pumping resources above the Corcoran Clay, etc. U. S. Bur. Reclamation, Open File Report.
- Mannhard G. W. and Busch D. A.*, 1974. Stratigraphic trap accumulation in southwestern Kansas and northwestern Oklahoma. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 58: 447—463.
- Martin B. D.*, 1963. Rosedale Channel—evidence for Late Miocene submarine erosion in Great Valley of California. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 47: 441—456.
- Martin C. A.*, 1967. Moomba—a South Australian gas field. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 7: 124—129.
- Martin R.*, 1966. Paleogeomorphology and its application to exploration for oil and gas (with examples from Western Canada). *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 50: 2277—2311.
- Masters C. D.*, 1967. Use of sedimentary structures in determination of depositional environments, Mesaverde Formation, Williams Fork Mountains, Colorado. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 51: 2033—2043.
- Mathews W. H. and Shepard F. P.*, 1962. Sedimentation of Fraser River delta, British Columbia. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 46: 1416—1438.
- Mayes J. W., et al.* (Editors), 1959. *Petroleum geology of southern Oklahoma*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*
- McCubbin D. G.*, 1969. Cretaceous strike-valley sandstone reservoirs, northwestern New Mexico. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 53: 2114—2140.
- McDaniel G. A.*, 1968. Application of sedimentary directional features and scalar properties to hydrocarbon exploration. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 1689—1699.
- McGowen J. H. and Garner L. E.*, 1969. Comparison of Recent and ancient coarse-grained point bars (Abstract). *Proc. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Conf.*, Dallas, 90—91.

- McGowen J. H. and Garner N. L.*, 1970. Phippiographic features and stratification types of coarse-grained point bars: modern and ancient examples. *Sedimentology*, 14: 77—111.
- McGregor A. A. and Biggs C. A.*, 1968. Bell Creek Field, Montana: a rich stratigraphic trap. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 1869—1887.
- McKee E. D.*, 1933. The Coconino Sandstone—its history and origin. in *Contributions to paleontology*. Carnegie Inst. Wash., Publ., 440: 78—115.
- McKee E. D.*, 1963. Origin of Nubian and similar sandstone. *Geol. Rundsch.* 52: 551—587.
- McKee E. D.*, 1966. Structures of dunes at White Sands National Monument, New Mexico (and a comparison with dunes from other selected areas). *Sedimentology*, 7: 1—69.
- McKee E. D.*, 1969. Paleozoic rocks of Grand Canyon. in *Geology and natural history of the Grand Canyon region*. Four Corners Geol. Soc., Spec. Publ., 78—90.
- McKee E. D.*, and *Sterrett T. S.*, 1961. Laboratory experiments on form and structure of longshore bars and beaches. in *Geometry of sandstone bodies*. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 13—28.
- McKee E. M.*, 1963. Paleogeomorphology, a practical exploration technique. *Oil and Gas J.*, 61: 140—143.
- McMaster R. L. and Ashraf A.*, 1973a. Extent and formation of deeply buried channels on the continental shelf of southern New Zealand. *J. Geol.*, 81: 374—379.
- McMaster R. L. and Ashraf A.*, 1973b. Drowned and buried valleys on the southern New England continental shelf. *Marine Geol.*, 15: 249—268.
- Meister E. M. and Aurich N.*, 1972. Geologic outline of oil fields of Sergipe Basin, Brazil. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 56: 1034—1047.
- Menard H. W.*, 1955. Deep-sea channels, topography, and sedimentation. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 39: 236—255.
- Mettler D. E.*, 1966. West Moorcroft Dakota field, Crook County, Wyoming. *Mountain Geologist*, 3: 89—92.
- Michaelis E. R.*, 1957. Cardium sedimentation in the Pembina River area. *J. Alberta Soc. Petrol. Geologists*, 5: 73—77.
- Michel R.* (Editor), 1971. Petroleum developments in North Africa in 1970. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 55: 1531—1558.
- Middleton G. V.* (Editor), 1965. Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec., Publ.*, 12.
- Miller D. N.*, 1962. Patterns of barrier bar sedimentation and its similarity to Lower Cretaceous Fall River stratigraphy. in *Symposium on Early Cretaceous rocks*. Wyoming Geol. Assoc., 17th Field Conf., Guidebook, 232—247.
- Molengraaff G. A. F.*, 1922. Geologie. in *Die Zeeën van Ned. Oost Indië*. Brill, Leyden, 272—357.
- Moore G. T.*, 1969. Interaction of rivers and oceans — Pleistocene petroleum potential. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 53: 2421—2430.
- Moore G. T.*, 1970. Role of salt wedge in bar-finger sand and delta development. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 54: 326—333.
- Morgan J. P. and Shaver R. H.* (Editors), 1970. Deltaic sedimentation, modern and ancient. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 15.
- Morris R. C.*, 1971. Stratigraphy and sedimentology of Jackfork Group, Arkansas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 55: 387—402.
- Morrison R. B. and Wright H. E.* (Editors), 1968. Means of correlation of Quaternary successions. *Proc. 7th Congr., Intl. Assoc. Quatern. Research, Univ. Utah Press*, 8.
- Mothersill J. S.*, 1968. Environments of deposition of the Halfway Formation, Milligan Creek area, British Columbia. *Bull. Canadian Petrol. Geol.*, 16: 180—199.
- Muller G.*, 1966. The new Rhine delta in Lake Constance. in *Deltas in their geologic framework*. Houston Geol. Soc., Spec. Publ., 107—124.

- Mutti E.*, 1974. Examples of ancient deep-sea fan deposits from circum-Mediterranean geosynclines. In Modern and ancient geosynclinal sedimentations. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 19: 91—105.
- Nanz R. H.*, 1954. Genesis of Oligocene sandstone reservoir, Seeligson Field, Jim Wells and Kleberg Counties, Texas. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 38: 96—117.
- National Science Foundation, 1968. Sedimentation: annotated bibliography of foreign literature for 1965 to 1967. U. S. Dept. Commerce, Survey, 3: 295 pp.
- Natland M. L. and Kuenen Ph. H.*, 1951. Sedimentary history of the Ventura Basin, California, and the action of turbidity currents. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 2: 76—107.
- Neew D.*, 1960. A pre-Neogene erosion channel in the southern coastal plain of Israel. Israel. Geol. Surv., Bull., 25: 20 pp.
- Nelson C. H. and Nilsen T. H.*, 1974. Depositional trends of modern and ancient deep—sea fans. In Modern and ancient geosynclinal sedimentation. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 19: 69—91.
- Nelson B. W.*, 1970. Hydrography, sediment dispersal, and recent historical development of the Po River Delta, Italy. In Deltaic sedimentation, modern and ancient. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 15: 152—184.
- Nelson B. W.* (Editor), 1972. Environmental framework of coastal plain estuaries. Geol. Soc. Am. Mem., 133: 619 pp.
- Nielson A. R.*, 1957. Cardium stratigraphy, Pembina Field. J. Alberta Soc. Petrol. Geologists, 5: 64—72.
- Niino H. and Emery K. O.*, 1961. Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea. Bull. Geol. Soc. Ath., 72: 731—762.
- Nolte C. J.*, 1963a. Potential stratigraphic accumulation of oil and gas in the Upper Cretaceous of the Denver Basin. In Geology of the northern Denver Basin and adjacent uplifts. Rocky Mountains Assoc. Geologists, Spec. Publ., 156—161.
- Nolte C. J.*, 1963b. The Minto field, a 'J' channel sand reservoir. In Geology of the northern Denver Basin and adjacent uplifts. Rocky Mountain Assoc. Geologists, Spec. Publ., 226—229.
- Normark W. R.*, 1970. Growth pattern of deep sea fans. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 54: 2170—2195.
- Normark W. R.*, 1974a. Ranger submarine slide, northern Sebastian Vizcaino Bay, Baja California, Mexico. Bull. Geol. Soc. Am., 85: 781—784.
- Normark W. R.*, 1974b. Submarine canyons and fan valleys: factors affecting growth patterns of deep-sea fans. In Modern and ancient geosynclinal sedimentation. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 19: 56—68.
- Normark W. R. and Piper D. J.*, 1969. Deep-sea fan-valleys, past and present. Bull. Geol. Soc. Am., 80: 1859—1866.
- Nota D. J. G.*, 1958. Sediments of the western Guiana Shelf. In Reports of the Orinoco Shelf Expedition. Mededel. Landbouwhogeschool Wageningen, 58: 1—98.
- Off T.*, 1963. Rhythmic linear sand bodies caused by tidal currents. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 47: 324—341.
- Oomkens E.*, 1966. Environmental significance of desert sandstone. Sedimentology, 7: 145—148.
- Oomkens E.*, 1967. Depositional sequences and sand distribution in a deltaic complex. Geol. Mijnbouw, 46: 265—278.
- O'Rourke E. V.*, 1941. Lensing sands of Ohio. In Stratigraphic type oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 382—385.
- Otvos E. C.*, 1970. Development and migration of barrier islands, northern Gulf of Mexico. Bull. Geol. Soc. Am., 81: 241—246.
- Paine W. R. and Meyerhoff A. A.*, 1968. Catahoula Formation of western Louisiana and thin-section criteria for fluvial depositional environment. J. Sediment. Petrol., 38: 92—113.
- Parks G. A.* (Editor), 1964. Computers in the mineral industries. Stanford Univ. Publ.

- Passega R.*, 1973. Sediment sorting related to basin mobility and environment. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 56: 2440—2450.
- Pate J. D.*, 1959. Stratigraphic traps along north shelf of Anadarko Basin, Oklahoma. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 43: 39—59.
- Patterson A. M.*, and *Arneson A. A.*, 1957. Geology of Pembina field. *Alberta. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 41: 937—949.
- Penttila W. C.*, 1964. Evidence for the pre-Niobrara unconformity in the northwestern part of the San Juan Basin. *Mountain Geologist*, 1: 3—14.
- Pepper J. F.*, de Witt, W. and Everhart G. M., 1953. The Clinton sands in Canton, Dover, Massillon and Navarro Quadrangles, Ohio. *U. S. Geol. Surv., Bull.*, 1003a.
- Pepper J. F.*, de Witt W. and Demarest D. F., 1954. Geology of the Bedford Shale and Berea Sandstone in the Appalachian Basin. *U. S. Geol. Surv., Profess. Pap.*, 259: 111 pp.
- Peterson J. A.* and *Osmond J. C.* (Editor), 1961. *Geometry of sandstone bodies.* Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 240 pp.
- Peterson J. A.*, et al., 1965. Sedimentary history and economic geology of San Juan Basin. *Bull. Am. Assoc. Petrol.* 49: 2076—2119.
- Petroleum Publishing Co.*, 1968. *International petroleum encyclopedia.* Petrol. Publishing Co., Tulsa, 424 pp.
- Pettijohn F. J.*, 1962. Paleocurrents and paleogeography. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 46: 1468—1493.
- Pettijohn F. J.*, et al., 1965. Geology of sand and sandstone. *Indiana Geol. Surv., Report*, 207 pp.
- Pettijohn F. J.*, *Potter P. E.* and *Siever R.*, 1972. *Sand and sandstone.* Springer-Verlag, New York, 618 pp.
- Pettyjohn W. A.*, 1967. New members of Upper Cretaceous Fox Hills Formation in South Dakota, representing delta deposits. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 51: 1361—1367.
- Picard M. D.* and *High L. R.*, 1973. Sedimentary structures of ephemeral streams. Elsevier, *Developments in sedimentology*, 17: 240 pp.
- Piper D. J. W.*, 1970. A Silurian deep sea fan deposit in western Ireland and its bearing on the nature of turbidity currents. *J. Geol.*, 78: 509—522.
- Piper D. J. W.* and *Normark W. R.*, 1971. Re-examination of a Miocene deep-sea fan and fan-valley, southern California. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 82: 1823—1830.
- Pirson S. J.*, 1970. Geologic well log analysis. Gulf Publ. Co., Houston, 370 pp.
- Pomeyrol R.*, 1968. Nubian sandstone. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 589—600.
- Potter P. E.*, 1962a. Sand body shape and map patterns of Pennsylvanian sandstones in Illinois. *Illinois Geol. Surv., Circular*, 339.
- Potter P. E.*, 1962b. Late Mississippian sandstones of Illinois Basin. *Illinois Geol. Surv., Circular*, 340.
- Potter P. E.*, 1962 c. Regional distribution of Pennsylvanian sandstones in Illinois Basin. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 46: 1890—1911.
- Potter P. E.*, 1963. Late Paleozoic sandstones of the Illinois Basin. *Illinois Geol. Surv., Report Investigations*, 217: 92 pp.
- Potter P. E.*, 1967. Sand bodies and sedimentary environments: a review. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 51: 337—365.
- Potter P. E.*, et al., 1958. Chester cross-bedding and sandstone trends in Illinois Basin. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 42: 1013—1048.
- Potter P. E.* and *Simon J. A.*, 1961. Anvil Rock sandstone and channel cutouts of Herrin (No. 6) Coal in west-central Illinois. *Illinois Geol. Surv., Circular*, 34.
- Potter P. E.* and *Pettijohn F. J.*, 1963. Paleocurrents and basin analysis. Springer-Verlag, New York, 296 pp.
- Potter P. E.* and *Blakely R. F.*, 1967. Generation of a synthetic vertical profile of a fluvial sandstone body. *J. Petrol. Technology*, 243—251.

- Pratt W. E. and Godd D.*, 1950. World geography of petroleum. Am. Geogr. Soc. Spec. Publ., 31: 464 pp.
- Price W. A.*, 1956. Environment and history in identification of shoreline types. *Quaternaria*, 3: 151—166.
- Price W. A.*, 1962. Origin of barrier chain and beach ridge. *Geol. Soc. Am.*, Abstr. 119.
- Prokopov C. A. and Maksimov M. I.*, 1937. Oil fields of Kuban-Black Sea region. *Trans. 17th International Geol. Congr.*, p. 5.
- Pryor W. A.*, 1973. Permeability — porosity patterns and variations in some Holocene sand bodies. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 57: 162—189.
- Psuty N. P.*, 1967. The geomorphology of beach ridges in Tabasco, Mexico. Louisiana State Univ., Coastal Studies Series, 18.
- Pugh W. E. and Preston B. G.* (Editors), 1951. Bibliography of stratigraphic traps. Seismograph Service Corporation, Tulsa, 195 pp.
- Puigdefabregas C.*, 1973. Miocene point-bar deposits in the Elbro Basin, northern Spain. *Sedimentology*, 20: 133—144.
- Pyecroft M.*, 1973. The Della field, Cooper Basin, South Australia. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 13: 58—67.
- Rainwater E. H.*, 1963. The environmental control of oil and gas occurrence in terrigenous clastic rocks. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, 13: 79—94.
- Rainwater E. H.*, 1966. Geologic importance of deltas. in *Deltas in their geologic framework*. Houston Geol. Soc., Spec. Publ., 1—15.
- Rainwater E. H.*, 1972. Petroleum in deltaic sediments. *Trans. 24th International Geol. Congr.*, 5: 105—113.
- Rainwater E. H. and Zingula R. P.*, 1962. Geology of the Gulf Coast and central Texas. *Houston Geol. Soc.*, Spec. Publ.
- Razavet C. D.*, 1956. Contribution a l'étude géologique et sédimentologique de delta du Rhone. *Soc. Géol. Franc., Mem.*, 76: 234 pp.
- Read W. A.*, 1965. Shoreward facies changes and their relation to cyclical sedimentation in part Namurian east of Stirling, Scotland. *Scottish J. Geol.*, 1: 69—92.
- Reedy R. D.*, 1966. Dutch Slough field typifies Sacramento Valley gas finds. *World Oil*, Jan., 85—88.
- Rees F. B.*, 1972. Methods of mapping and illustrating stratigraphic traps. in *Stratigraphic oil and gas fields — classification, exploration methods, and case histories*. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 16: 168—221.
- Reineck H. E., and Singh I. B.*, 1973. *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag, New York, 439 pp.
- Reynolds D. W. and Vincent J. K.*, 1967. Western Kentucky's Bethel channel — the largest continuous reservoir in the Illinois basin. *Kentucky Geol. Surv.*, Spec. Publ., 14: 19—30.
- Reynolds D. W. and Vincent J. K.*, 1972. Midland gas field, western Kentucky. in *Stratigraphic oil and gas fields*. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 16: 585—598.
- Ricci, Lucchi F.*, 1969. Channelized deposits in the Middle Miocene flysch of Romagna (Italy). *Gior. Geologia*, 36: 203—260.
- Rich J. L.*, 1923. Shoestring sands of eastern Kansas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 7: 103—113.
- Rich J. L.*, 1926. Further observations on shoestring oil pools of eastern Kansas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 10: 568—580.
- Rich J. L.*, 1938. Application of principle of differential settling to tracing of lenticular sand bodies. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 22: 823—833.
- Rich J. L.*, 1948. Submarine sedimentary features on Bahama Banks and their bearing on distribution patterns of lenticular oil sands. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 32: 767—779.
- Rich J. L.*, 1938. Shoreline and lenticular sands as factors in oil accumulation. in *The science of petroleum*. Oxford Univ. Press, 230—239.
- Rieke H. H. and Chilingarian G. V.*, 1974. *Compaction of argillaceous sediments*. Elsevier, Developments in sedimentology, 16: 438 pp.

- Rigassi D. A.*, 1969. Nubian sandstone: a discussion. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 53: 183—184.
- Rigby J. K.* and Hamblin W. K. (Editors), 1972. Recognition of ancient sedimentary environments. *Soc. Econ. Paleontologists, Mineralogists, Spec. Publ.*, 16.
- Rittenhouse G.*, 1949. Petrology and paleogeography of Greenbrier Formation. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 33: 1704—1730.
- Rittenhouse G.*, 1961. Problems and principles of sandstone-body classification. in *Geometry of sandstone bodies*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 3—12.
- Rittenhouse G.*, 1971. Pore-space reduction by solution and cementation. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 55: 80—91.
- Rittenhouse G.*, 1972. Stratigraphic-trap classification. in *Stratigraphic oil and gas fields*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 16: 14—28.
- Rudolph J. C.*, 1959. Bellshill Lake Field, Alberta. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 43: 880—897.
- Rudolph J. C.*, 1960. Bellshill Lake Field. in *Oil fields of Alberta*. *Alberta Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 64—65.
- Rusnak G. A.*, 1960. Sediments of Laguna Madre, Texas. in *Recent sediments, northwest Gulf of Mexico*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 153—196.
- Russell R. J.*, 1942. Geomorphology of the Rhone delta. *Assoc. Am. Geographers, Annals*, 32: 149—254.
- Sabins F. F.*, 1963. Anatomy of stratigraphic trap. Bisti field, New Mexico. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 47: 193—228.
- Sanderson I. D.*, 1974. Sedimentary structures and their environmental significance in the Navajo Sandstone, San Rafael Swell, Utah. *Brigham Young Univ. Geol. Studies*, 21: 215—246.
- Sanford R. M.*, 1970. Sarir oil field, Libya—desert surprise. in *Geology of giant petroleum fields*. *Am. Assoc. Geologists*, 14: 449—476.
- Sanford R. M.* and *Lange F. W.*, 1960. Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 44: 1316—1370.
- Schlee J. S.* and *Moench R. H.*, 1961. Properties and genesis of Jackpile Sandstone, Laguna, New Mexico. in *Geometry of sandstone bodies*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 134—150.
- Scholl D. W.* and *Hopkins D. M.*, 1968. The structure and origin of gigantic submarine canyons of the Bering Sea. *Geol. Soc. Am., Abstr.*, 266—267.
- Schumm S. A.*, 1960. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. *U. S. Geol. Surv., Profess. Pap.*, 352B.
- Schumm S. A.*, 1963. A tentative classification of alluvial river channels. *U. S. Geol. Surv., Circular*, 477.
- Schumm S. A.*, 1972a. Fluvial paleochannels. in *Recognition of ancient sedimentary environments*. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 16: 98—107.
- Schumm S. A.* (Editor), 1972b. River morphology. *Dowden, Hutchinson and Ross*, 429 pp.
- Schwartz M. L.*, 1971. The multiple causality of barrier islands. *J. Geol.*, 79: 91—94.
- Schwartz M. L.* (Editor), 1972. Spits and bars. *Dowden, Hutchinson and Ross*, 452 pp.
- Schwartz M. L.* (Editor), 1973. Barrier islands. *Dowden, Hutchinson and Ross*, 464 pp.
- Scobey W. B.*, 1964. Bijou field channel sandstone, Morgan County, Colorado. *Mountain Geologist*, 1: 55—58.
- Scruton P. C.*, 1960. Delta building and delta sequence. in *Recent sediments, northwest Gulf of Mexico*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*
- Selly R. C.*, 1965. Diagnostic characters of fluvial sediments of the Torridonian Formation (PreCambrian) of North-West Scotland. *J. Sediment. Petrol.*, 35: 366—380.

Selly R. C., 1967. Paleocurrents and sediment transport in nearshore sediments of the Sirte Basin, Libya. *J. Geol.*, 75: 215—223.

Selly R. C., 1970. Ancient sedimentary environments. Chapman and Hall. London, 237 pp.

Shannon J. P. and *Dahl A. R.*, 1971. Deltaic-stratigraphic traps in West Tuscola Field, Taylor County, Texas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 55: 1194—1205.

Sharp R. P., 1940. Ep-Archean and Ep-Algonkian erosion surfaces, Grand Canyon, Arizona. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 51: 1235—1270.

Shelton J. W., 1965. Trend and genesis of lowermost sandstone unit of Eagle Sandstone at Billings, Montana. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 49: 1385—1397.

Shelton J. W., 1967. Stratigraphic models and general criteria for recognition of alluvial, barrier-bar, and turbidity-current sand deposits. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 51: 2441—2461.

Shelton J. W., 1973a. Dielectric anisotropy and grain orientation: discussion. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 59: 1787—1788.

Shelton J. W., 1973b. Models of sand and sandstone deposits: a methodology for determining sand genesis and trend. *Oklahoma Geol. Surv., Bull.*, 118: 122 pp.

Shelton J. W., and *Mack D. E.*, 1970. Grain orientation in determination of paleocurrents and sandstone trends. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 54: 1108—1119.

Shelton J. W., *Terrell D. W.* and *Karvelot M. D.*, 1972. Genesis and geometry of sandstones. *Oklahoma City Geol. Soc., Spec. Publ.*, 66 pp.

Shelton J. W., and *Noble R. L.*, 1974. Depositional features of braided-meandering stream. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 4: 742—752.

Shepard F. P., 1951. Transportation of sand into deep water. in *Turbidity currents and the transportation of coarse sediments to deep water.* Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 2: 53—65.

Shepard F. P., 1960. Gulf Coast barriers in Recent sediments, northwest Gulf of Mexico. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 197—220.

Shepard F. P., 1965a. Importance of submarine valleys in funneling sediments to the deep sea. *Progress in Oceanography*, 3: 321—332.

Shepard F. P., 1965b. Types of submarine valleys. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 49: 304—310.

Shepard F. P. and *Moore D. G.*, 1955. Central Texas coast sedimentation: characteristics of sedimentary environment, recent history and diagenesis. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 39: 1463—1563.

Shepard F. P., *Phleger F. B.* and *van Andel T. H.* (Editor), 1960. Recent sediments, northwest Gulf of Mexico: a symposium. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 394 pp.

Shepard F. P. and *Dill R. F.*, 1966. Submarine canyons and other sea valleys. *Rand McNally, Chicago*, 381 pp.

Shepard F. P. and *Marshall N. F.*, 1973. Currents along floors of submarine canyons. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 57: 244—264.

Shepard F. P. and *Emery K. O.*, 1973. Congo submarine canyon and fan valley. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 57: 1679—1691.

Sherrill R. E., *Dickey P. A.* and *Matheson L. S.*, 1941. Types of stratigraphic oil pools in Venango sands of northeastern Pennsylvania. in *Stratigraphic type oil fields.* Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 507—538.

Shirley M. L. and *Ragsdale J. A.* (Editor), 1966. Deltas in their geological framework. *Houston Geol. Soc., Spec. Publ.*, 251 pp.

Silver C., 1973. Entrapment of petroleum in isolated porous bodies. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 57: 726—740.

Sioli H., 1966. General features of the delta of the Amazon. in *Scientific problems of the humid tropical zone deltas and their implications.* UNESCO, Proc. Dacca Symposium, 381—390.

- Smale D. and Trueman N. A.*, 1965. The mineralogy and petrology of the Permian sandstones at Gidgealpa, South Australia, *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 5: 152—158.
- Smith A. E.*, 1971. Deltas of the world — modern and ancient, bibliography. *Houston Geol. Soc. Spec. Publ.*, 42 pp.
- Smith F. G.*, 1966. Geological data processing. Harper and Row. New York, 284 pp.
- Soliman M. S.*, and *El-Fetouh M. A.*, 1970. Carboniferous of Egypt: isopach and lithofacies maps. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 54: 1918—1930.
- Spackman W.*, *Scholl D. W.* and *Tajt W. H.*, 1964. Environments of coal formation in south Florida. *Geol. Soc. Am., Guidebook*, 67 pp.
- Spoljaric N.*, 1967. Quantitative lithofacies analysis of Potomac Formation, Delaware. *Delaware. Geol. Surv., Report*, 12.
- Sproule J. C.*, 1938. Origin of McMurray oil sands, Alberta. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 22: 1133—1152.
- Stahl L. and Koczan J.*, 1974. Anatomy of a shoreface-connected sand ridge on the New Tersey shelf: implications for the genesis of the shell surficial sand sheet. *Geology*, 2: 117—120.
- Stanley D. J. and Unrug R.*, 1972. Submarine channel deposits, fluxoturbidites and other indicators of slope and base-of-slope environments in modern and ancient marine basins. in *Recognition of ancient sedimentary environments. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 16: 287—340.
- Stapp R. W.*, 1967. Relationship of Lower Cretaceous depositional environment to oil accumulation, northeastern Powder River Basin, Wyoming. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 51: 2044—2055.
- Stäuble A. J. and Milius G.*, 1970. Geology of Groningen gas field. in *Geology of giant petroleum fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem.*, 14: 359—369.
- Stewart G. A.*, 1963. Geological controls of the distribution of Athabasca oil sand reserves. in *Athabasca oil sands. Alberta Research Council, Information Series*, 45: 15—26.
- Stokes W. L.*, 1950. Pediment concept applied to Shinarump and similar conglomerates. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 61: 91—98.
- Stokes W. L.*, 1961. Fluvial and eolian sandstone bodies in Colorado Plateau. in *Geometry of sandstone bodies. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 151—178.
- Stone W. D.*, 1972. Stratigraphy and exploration of the Lower Cretaceous Muddy Formation, northern Powder River Basin, Wyoming and Montana. *Mountain Geologists*, 9: 355—378.
- Stone D. S. and Hoeger R. L.*, 1973. Importance of hydrodynamic factor in formation of Lower Cretaceous combination traps, Big Muddy-South Glen rock area, Wyoming. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 57: 1714—1733.
- Strickland C.*, 1940. Deltaic formation with special reference to the hydrographic processes of the Ganges and Brahmaputra. Longman, Green and Co., Calcutta.
- Stride A. H.*, 1963. Current-swept sea floors near the southern half of Great Britain. *Q. J. Geol. Soc. Lond.*, 119: 175—199.
- Suey H.*, 1960. Hughenden Field. in *Oil fields of Alberta. Alberta Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 132—133.
- Suhm R. W.*, 1974. Stratigraphy of the Everton Formations (Early Medial Ordovician) northern Arkansas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 58: 658—707.
- Sullwold H. H.*, 1960. Tarzana fan, deep submarine canyon of Late Miocene age, Los Angeles County, California. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 44: 433—457.
- Sullwold H. H.*, 1961. Turbidites in oil exploration. in *Geometry of sandstone bodies. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 63—81.
- Swan S. B., St. C.*, 1968. Coastal classification with reference to the east coast of Malaya. *Z. Geomorphol.*, 7: 114—132.
- Swann D. H. and Atherton E.*, 1948. Subsurface correlations of Lower Chester strata of the Eastern Interior Basin. *J. Geol.*, 56: 269—287.

- Swift D. J. P.*, 1968. Coastal erosion and transgressive stratigraphy. *J. Geol.*, 76: 444—456.
- Swift D. J. P.* and *McMullen R. M.*, 1968. Preliminary studies of intertidal sand bodies in the Minas Basin, Bay of Fundy, Nova Scotia. *Can. J. Earth Sci.*, 5: 175—183.
- Swindon V. G.*, 1968. Case history — Roma area. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 8: 120—129.
- Tanner W. F.*, 1965. Upper Jurassic paleogeography of the Four Corners region. *J. Sediment. Petrol.*, 35: 564—574.
- Taylor J. H.*, 1963. Sedimentary features of an ancient deltaic complex: the Wealden rocks of southeastern England. *Sedimentology*, 2: 2—28.
- Thom B. G.*, 1974. Coastal erosion in eastern Australia. *Search*, 5: 198—209.
- Thompson W. O.*, 1937. Original structures of beaches, bars, and dunes. *Bull. Geol. Soc. Am.* 48: 723—752.
- Thorburn W. D.*, 1969. *Principles of Geomorphology*. Wiley and Sons, New York, 594 pp.
- Thornton R. C. N.*, 1973. Lithofacies study on the Toolachee Formation, Gid-gealpa-Moomba-Big Lake area, Cooper Basin, South Australia. *J. Aust. Petrol. Exploration Assoc.*, 13: 41—48.
- Tixier M. P.* and *Forsythe R. L.*, 1951. Application of electric logging in Canada. *Bull. Canadian Mining Metallurgy*, Sept., 358—369.
- Tomkins J. Q.*, 1957. Bisti oil field, San Juan County, New Mexico. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 41: 906—922.
- Tomlinson C. W.* and *McBee W.*, 1959. Pennsylvanian sediments and orogenies of Ardmore district, Oklahoma. in *Petroleum geology of southern Oklahoma*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 3—52.
- Trask P. D.* (Editor), 1955. Recent marine sediments: a symposium. *Sos. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 4: 736 pp.
- Traves D. M.*, 1972. Stratigraphic traps in the Roma area. Queensland, Australia. *Aust. Oil and Gas Review*, 18: 7—10.
- Trescott P. C.*, 1964. The influence of preceding sedimentary patterns on the thickness of a Pennsylvanian coal. Univ. Illinois. M. Sc. thesis.
- Tricart J.*, 1955. Aspects sédimentologiques du delta du Senegal. *Geol. Rundsch.*, 43: 384—397.
- Truchot J. F.*, 1963. The Miller Creek Field, Crook County, Wyoming. *Wyoming Geol. Assoc., Guidebook*, 129—132.
- Twenhofel W. H.*, 1961. *Treatise on sedimentation*. Dover Publications, 926 pp.
- Twidale R.*, 1968. *Geomorphology*. Thomas Nelson and Sons, 406 pp.
- Tyrell G. B.*, 1966. Garrington Field. in *Oil fields of Alberta*. Alberta Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 272 p.
- Union Oil Development Corp.*, 1964. U-K-A Moonie No. 1, Queensland. *Bur. Mineral Resources, Canberra, Petrol. Search Subsidy Act, Publ.*, 45.
- United Nations*, 1963. Case histories of oil and gas fields in Asia and the Far East. ECAFE, Mineral Resources Development Series, 20: 161 pp.
- Vail R. S.*, 1965. Environmental mapping of some Lower Pennsylvanian strata of a small area in southeastern Illinois. Univ. Illinois, B. Sc. thesis.
- Vail J. R.*, 1974. Distribution of Nubian Sandstone Formation in Sudan and vicinity. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 58: 1025—1036.
- van Andel T. H.* and *Postma H.*, 1954. Recent sediments of the Orinoco Shelf expedition. *Verh. der Kon. Nederl. Akad. Wetensch.*, 20: 238 pp.
- van Andel T. H.* and *Shor G. G.* (Editors), 1964. *Marine geology of the Gulf of California*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem.*, 3.
- van Houten F. B.*, 1973. Meaning of molasse. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 84: 1973—1975.
- van Straaten L. M. J. U.*, 1953. Megaripples in the Dutch Madden Sea and in the Basin of Arcachon (France). *Geol. Mijnbouw*, 15: 1—11.
- van Straaten L. M. J. U.*, 1957. Recent sandstones on the coasts of the Netherlands and of the Rhone delta. *Geol. Mijnbouw*, 19: 196—213.

- van Straaten L. M. J. U.*, 1960. Some recent advances in the study of deltaic sedimentation. *Liverpool Manchester Geol. J.*, 2: 411—442.
- van Straaten L. M. J. U.*, (Editor), 1964. Deltaic and shallow marine deposits. Elsevier, *Developments in Sedimentology*, 1: 464 pp.
- ver Steeg K.*, 1947. Black Hand Sandstone and conglomerate in Ohio. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 58: 703—728.
- Vigrass L. W.*, 1968. Geology of Canadian heavy oil sands. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 52: 1984—1999.
- Visher G. S.*, 1965. Use of vertical profile in environmental reconstruction. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 49: 41—61.
- Visher G. S.*, 1969. How to distinguish barrier bar and channel sands. *World Oil*, May, 106—113.
- Visher G. S.*, 1972. Physical characteristics of fluvial deposits. in *Recognition of ancient sedimentary environments*. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 16: 84—97.
- Volker A.*, 1966. The deltaic area of the Irrawaddy River in Burma. in *Scientific problems of the humid tropical zone deltas and their implications*. UNESCO, *Proc. Dacca Symposium*, 373—379.
- Von der Borch C. C.*, 1968. Southern Australian submarine canyons: their distribution and ages. *Marine Geol.*, 6: 267—279.
- Von Ulrich J.*, 1966. Torfe des rheineschen Tertiärs im Vergleich mit heutigen Bildungen am der amerikanischen Ostküste. *Zeit. Deutsch. Geol. Ges.*, 118: 69—101.
- Walters R. F.*, 1946. Buried pre-Cambrian hills in northeastern Barton County, central Kansas. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 30: 660—710.
- Wanless H. R.*, et al., 1970. Late Paleozoic deltas in the central and eastern United States. in *Deltaic sedimentation, modern and ancient*. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 15.
- Wasson T. and Wasson I. B.*, 1929. Cabin Creek Field, West Virginia. in *Structure of typical American oil fields*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 462—475.
- Weber K. J.*, 1971. Sedimentological aspects of oil fields in the Niger Delta. *Geol. Mijnbouw*, 50: 559—576.
- Weeks L. G.*, 1952. Factors of sedimentary basin development that control oil occurrence. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 36: 2071—2124.
- Weeks L. G.*, 1958. Habitat of oil and some factors that control it in Habitat of oil. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 1—61.
- Weeks L. G.* (Editor), 1958. Habitat of oil: a symposium. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 1384 pp.
- Weimer R. J.*, 1961. Spatial dimensions of Upper Cretaceous sandstones. Rocky Mountain area. in *Geometry of sandstone bodies*. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ.*, 82—97.
- Weimer R. J.*, 1966. Time-stratigraphic analysis and petroleum accumulations, Patrick Draw field, Sweetwater County, Wyoming. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 50: 2150—2175.
- Weimer R. J.*, 1970. Rates of deltaic sedimentation and intrabasin deformation, Upper Cretaceous of Rocky Mountain region. in *Deltaic sedimentation, modern and ancient*. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 15: 270—292.
- Weimer R. J.* (Compiler), 1973. Sandstone reservoirs and stratigraphic concepts. *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Reprint Series*, 7, 8.
- Weimer R. J. and Hoyt J. H.*, 1964. Burrows of *Callianassa major* Say, geologic indicators of littoral and shallow neritic environments. *J. Paleont.*, 38: 761—767.
- Wermund E. G., and Jenkins W. A.*, 1970. Recognition of deltas by fitting trend surfaces to Upper Pennsylvanian sandstones in north-central Texas. in *Deltaic sedimentation—modern and ancient*. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ.*, 15: 156—269.

Wessel J. M., 1969. Sedimentary history of Upper Triassic alluvial fan complexes in north-central Massachusetts. Univ. Mass., Geology Contribution, 2: 157 pp.

Wharton J. B., 1948. Isopachous maps of sand reservoirs. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 32, 1331—1339.

Whitaker J. H. McD., 1974. Ancient submarine canyons and fan valleys in Modern and ancient geosynclinal sedimentation. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ., 19: 106—125.

White L. H., 1928. Subsurface distribution and correlation of the pre-Chattanooga (Wilcox Sand) series of northeastern Oklahoma. Okla. Geol. Surv., Bull., 40.

White N. B., and Orr J. B. B., 1968. Fort Saskatchewan gas field, Alberta. in Natural gases of North America. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem., 9: 713—720.

Wier C., 1953. Distribution, structure, and mined areas of coal in Pike County, Indiana. Indiana Geol. Surv., Prelim. Coal. Map, 3.

Williams G. D. and Burk C. F., 1964. Upper Cretaceous in Geological history of western Canada. Alberta Soc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 169—189.

Williams P. F., 1969. Characteristics and origin of a Precambrian pediment. J. Geol., 77: 183—207.

Williams P. F. and Rust B. R., 1969. The sedimentology of a braided river. J. Sediment. Petrol., 39: 649—679.

Wilson G. W., 1948. Channels and channel-filling sediments of Richmond age in south—central Tennessee. Bull. Geol. Soc. Am., 59: 733—766.

Winkelnoten A. M., 1972. Dielectric anisotropy and grain orientation. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 56: 2150—2159.

Winkelnoten A. M., 1973. Dielectric anisotropy and grain orientation: reply to John W. Shelton. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 59: 1788—1790.

Withrow, P. C., 1968. Depositional environments of Pennsylvanian Red Fork Sandstone in northeastern Anadarko Basin, Oklahoma. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 52: 1638—1654.

Witkind I. J., 1956. Channels and related swales at the base of the Shinarump Conglomerate, Monument Valley, Arizona. U. S. Geol. Surv., Profess. Pap., 300: 233—237.

Wolman M. G. and Brush L. M., 1961. Factors controlling the size and shape of stream channels in coarse non-cohesive sands. U. S. Geol. Surv., Profess. Pap., 282G.

Woncik J., 1972. Recluse field, Campbell County, Wyoming. in Stratigraphic oil and gas fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Mem. 16: 376—382.

Workman L. E., 1958. Glauconitic sandstone in southern Alberta. J. Alberta Soc. Petrol. Geologists, 6: 237—245.

Workman L. E., 1968. Carbon gas field, Alberta. in Natural gases of North America. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 726—730.

Wright L. D. and Coleman J. M., 1973. Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 57: 370—398.

Wright R., 1941. Red Fork Shoestring Sand Pool, Pawnee Creek, and Tulsa Counties, northeastern Oklahoma. in Stratigraphic type oil fields. Am. Assoc. Petrol. Geologists, Spec. Publ., 473—491.

Wulf G. R., 1964. Shoestring sandstones in Cretaceous Bearpaw Shale in central Montana. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 48: 1196—1198.

Wurster P., 1964. Delta sedimentation in the German Keuper Basin. in Deltaic and shallow marine deposits. Elsevier, Developments in Sedimentology, 1.

Yasso W. E., 1965. Plan geometry of headland-bay beaches. J. Geol., 73: 702—714.

Young G. A., 1971. Exploring for stratigraphic traps in the Oficina area, Venezuela. Proc. 8th World Petrol. Congr., Geological and Exploration, 2: 249—257.

Zapp A. D. and Cobbon W. A., 1960. Some Late Cretaceous strand lines in northwestern Colorado and northeastern Utah. U. S. Geol. Surv., Profess. Pap., 400B, 246—249.

Zimmerle W., 1964. Sedimentology of a Tertiary beach sand in the subalpine molasse trough. in Deltaic and shallow marine deposits. Elsevier, Developments in Sedimentology, 1: 447—457.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Айванхо, месторождение 46
 Айртон, свита 61
 Аллайанс, месторождение 31
 Аллювиальный конус выноса 202—205
 Ами, свита 133
 Анадарко, бассейн 119, 158, 165
 Анвил-Рок, песчаник 30
 Ангидрит 38
 Аномальное давление 84
 Аппалачская дельта 84
 Аркома, бассейн 92
 Асфальт 219
 Асфальтоподобная нефть 200
 Атабаска, битуминозные пески 56
 Атока, свита 94, 164
 Афиесере, месторождение 100
- Бак-Крик, пачка 147**
 Балтимор-Каньон, трог 25
 Баранл, серия 72
 Барнсли, месторождение 43
 Бартлсвилл, русло 35
 Бартлсвилл, песчаники 35, 46
 Бахи, месторождение 211
 Барьерный остров 26, 27, 82, 92, 107, 108, 109, 110, 124, 184
 Бедфорд, свита 41
 Белл-Крик, месторождение 123, 125, 126
 Бел-Хедан, месторождение 212
 Белли-Ривер, свита 99, 143, 145, 147
 Белли-Ривер, залежь 98, 100
 Белшилл-Лейк, месторождение 37, 59, 60, 157
 Бенгальский конус выноса 181
 Бентонит 151
 Бербанк, месторождение 149
 Бердронг, песчаники 163
 Береговой бар 141
 Береговой вал 141
 Бери, песчаник 41
 Берпо, сланец 90
 Бетел, песчаники 43
 Биверхилл-Лейк, месторождение 151
 Биг-Пайни, месторождение 133
 Биндлосс, месторождение 151
 Биотурбация 124, 125
 Бисти, месторождение 125
 Битумы 200
 Блафф-Крик, месторождение 87
 Блуски, песчаники 171
 Блэрмор, песчаники 84
 Блэрмор, группа 87
 Ботукату, свита 187
 Бовилд, месторождение 151
 Бразос, впадина 84
 Брайт-Эйнджел, свита 161
 Брентвуд, месторождение 187
- Буш-Сити, месторождение 48
 Буч, песчаники — 84
 Бьюи-Блейсо, месторождение 87
- Вади 220**
 Вайкинг-Кинселла, месторождение 151
 Вайкинг, свита 143, 144, 151
 Валу приливных течений 193—197, 200
Ванадий 36
 Венанго, группа 116
 Вентура, бассейн 179
 Вентура, месторождение 179, 191
 Водонапорный режим 54, 55, 61
 Волгоградская дельта 87
 Временной стратиграфический маркирующий горизонт 27
 Вязкая нефть 41, 73, 163
- Галлуп, свита 103, 169**
 Гамильтон-Лейк, месторождение 151
 Гаррингтон, месторождение 127, 128, 129
 Гас-Дро, месторождение 127
 Гастролиты 95
 Гастролоды 28, 71
 Гей-Спенсер-Ричардсон, тренд 42
 Гиджалла, месторождение 54
 Гиджалла, группа 52
 Гидродинамические условия 18, 56, 72, 135
 Гидростатическое давление 43, 54
 Гилби-Бентли, месторождение 151
 Гипс 40, 118
 Гипсленд, бассейн 177, 181, 189
 Глауконит 100, 114, 131, 144, 171, 187, 190, 199
 Глауконитовые песчаники 171
 Гост-Пайн, месторождение 172
 Грабен 206, 211
 Гранерос, сланец 154
 Гранит-Уош, песчаники 38, 39, 40
 Грайам, свита 34
 Грин-Ривер, бассейн 133
 Гроиншген, месторождение 219, 220
- Дайси, свита 209**
 Датч-Слау, месторождение 187
 Двустворчатые 28, 151, 168
 Девонские отложения 30, 38, 57, 59
 Дейвис, песчаники 135
 Дейл-Консолидейтед 96
 Делавэр, впадина 25
 Делавэр-Экстеншен, месторождение 46
 Дельта-Дак-Клаб, месторождение 24
 Дельта в форме птичьей лапы 80—82

Дельта Нигера 100, 105
Дельта Нила 138
Дельтовая протока 77, 88, 100
Денвер, бассейн 23, 38, 68, 149, 154
Джеббель, месторождение 211
Джолит-Фу, свита 151
Джоркам, месторождение 143, 151
Джюфр, месторождение 151
Джэкпайл, песчаники 36
Диапировая структура 103
Диахронная толща II, 79, 136, 146
Динсон, песчаники 66
Доудсленд, месторождение 151, 152
Дойг, свита 167
Докембрийская система 27, 39
Докембрийский щит 58, 97, 210
Доломит 38, 118, 221
Донки-Крик, месторождение 65
Дор, месторождение 211

Естественный прирусловый вал 76, 141.

Закачка горячей воды 57
Закачка пара 57
Зандровая равнина 40
Зельтен, месторождение 211
Игл, песчаник 111, 114, 147, 156
Известняк 34, 46, 57, 59, 74, 87, 94, 165, 173, 198
Изменение зернистости 11, 20, 23, 37, 60, 62, 71, 73, 75, 83, 114, 158
Илейтрит, бар 199, 200, 201
Иллинойский бассейн 30, 31, 89, 199
Иллит 53, 128
Индефатигабл, месторождение 219
Инфириор, серия 222
Ист-Сандбар, месторождение 63
Ист-Таскиги, месторождение 95
Итапарика, свита 121
Ишрин, свита 209

Иегуа, свита 134
Юкум, русло 184

Кабин-Крик, месторождение 31, 41
Кальцит 37, 52, 60, 98, 119, 121
Камменноугольный период 84, 88
Канейдавей, группа 40, 41
Каолин 28, 37, 53, 144
Карбон, месторождение 24, 171
Карбон, песчаники 171, 172, 173
Карбонатные породы 85
Карбондейл; свита 32
Карбондейл, русло 31
Кардайум, песчаники 128, 132, 199
Карнарвон, бассейн 163
Карлайл, свита 169
Карта изолит 25, 110, 126
Карта процентного содержания песка 153

Карта равных времен 113
Каспар, свита 217
Кат-Банк, месторождение 70
Кат-Банк, песчаники 72, 157
Кварцевый песок 217
Кег-Кули, месторождение 46
Кембрийская система 28
Керрант, месторождение 168
Кинта, месторождение 164
Кирикире, свита 157
Китти, месторождение 63, 127
Классификация 9
Классификация песчаных тел по их форме 9
Классификация условий осадконакопления 12—18
Кливленд, пачка 29
Клируотер, свита 57, 172
Клифф-Хаус, свита 159
Койот-Крик, месторождение 66
Кокейтн, свита 163
Коконайно, песчаники 217
Колвилл-Смайли, месторождение 151—152
Коллоиды 162
Колорадо, группа 128, 151
Колумбус, месторождение 102
Конодонты 98
Континентальный шельф 75
Котла, месторождение 211
Кремнезем 30, 121, 144
Кривые естественной поляризации (ПС) 22, 25
Кристал-Фолс, свита 86
Кросфилд, месторождение 127, 129
Куиксанд-Крик, месторождение 102
Кук-Ранч, месторождение 87
Купер, бассейн 52
Купфершифер, сланец 221
Кутеней, свита 70
Куэста 11, 156, 165, 169

Ларамийский орогенез 133
Латроб, группа 189, 290
Лейк-Бейсин, месторождение 91
Лейк-Крик, месторождение 102
Лейкс-Энтранс, свита 189
Леман, месторождение 219
Лехиб, месторождение 211
Ли-Парк, свита 99
Лигнит 72, 101
Литл-Крик, месторождение 24
Лос-Анджелес, бассейн 191
Льюзерн, месторождение 43

Магид, месторождение 211
Мадди, свита 62, 63, 115, 123
Майкопское, месторождение 73
Майснер, песчаник 95
Мак-Алестер, впадина 164
Мак-Алестер, свита 84, 91, 94

- Мак-Марри, свита 56
 Манвилл, группа 151, 171
 Мани-Рокс, месторождение 131, 170
 Мансур, месторождение 211
 Маркирующий слой 27, 30, 60, 96, 166, 168, 198, 207
 Марлиш, месторождение 189
 Мартинес, свита 187
 Маскег, свита 38
 Мата-Кату, тренд 121
 Меганос, русло 187
 Межкуэстовые долины 11, 151, 156, 165
 Мейн-Пасс, Блок-35, месторождение 105
 Меловые отложения 38
 Меркьюр, свита 105
 Меса, месторождение 131, 170
 Месаверде, песчаник 147, 159
 Месторождения с залежами в отложениях свиты Морроу 165
 Месторождения с залежами в отложениях Уилкокс 102
 Мидленд, месторождение 43
 Миллер-Крик, месторождение 147, 159
 Миллиган, месторождение 166
 Милтон, месторождение 151
 Миссисипские отложения 38
 Мичиган, свита 117, 118
 Монкопи, свита 36, 200
 Моноклиналь 74, 160
 Моррис, месторождение 87
 Моррисон, свита 37
 Морроу, свита 165
 Морские ископаемые остатки 89
 Мулеймбер, песчаники 53
 Мумба, месторождение 52
 Муни, месторождение 55
 Мурейри, месторождение 54
 Мьюзик-Маунтин, нефтяная залежь 40
 Навахо, песчаники 217
 Найобрара, свита 169, 170
 Наступание (береговой линии) 77, 82
 Нахоркатия, месторождение 72
 Неокомские отложения 57, 60
 Нефть, скопления в синклиналях 43
 Нефть, добыча 150
 Никобарский конус выноса 182
 Ниску, свита 60
 Нубийские песчаники 208
 Нью-Улм, месторождение 103
 Ньюкасл, песчаники 66
 Обугленные растительные остатки 28, 34, 43, 45, 62, 68, 91, 102, 134
 Огайо, сланец 30
 Окдейл, месторождение 51
 О'Коннор, месторождение 65
 Олимпик, месторождение 121
 Опорный горизонт 109, 146
 Ора, месторождение 211
 Орган-Рок, сланец 200
 Ордовикские отложения 29
 Ориентировка частиц 111, 196
 Орискейни, песчаник 160
 Осадочные текстуры 11, 20, 71, 76
 Остии, месторождение 117
 Остра, месторождение 104
 Остракодовая пачка 172
 Остракоды 59, 71, 122, 152
 Отражающий сейсмический горизонт 112
 Офисина, свита 104
 Пайко, песчаники 179, 191
 Палеосклон 30
 Палестайн, песчаники 89, 199
 Паудер-Ривер, бассейн 38, 62, 63, 65
 Пембина, месторождение 98, 143, 145
 Пенсильванские отложения 38
 Пермские отложения 38
 Песок барового пальца 76, 136
 Песок дельтового обрамления 75, 91
 Песчаные дюны 108, 213
 Песчаные покровы 213—215, 217
 Песчаные sillы 78
 Петерсберг, свита 32, 34
 Пиджей, месторождение 168
 Пиканджинни, месторождение 54
 Пирит 42
 Пластовые флюиды 84
 Плейстоценовые отложения 59
 Погрёбённые холмы 60
 Подводные морские долины 175, 184, 185, 189
 Подводные конусы выноса 180, 191
 Поипт-Лукаут, свита 159
 Покровный песок 213—215, 217
 Покровское, месторождение 94
 Полевой шпат 106, 110, 207
 Пористость 18, 23, 94, 98, 106
 Потомак, группа 25
 Пояс мандрирования 19
 Пресипис, песчаник 54
 Прибрежные марши 34, 60, 173
 Прибрежная равнина 137
 Прилинные каналы 138, 171
 Прирусовая отмель 21, 24, 36, 60, 67
 Провост, месторождение 151
 Продельта 77, 82
 Проницаемость 18, 23, 92, 94, 98, 156
 Протерозойские отложения 38
 Пьюласки, русло 28
 Разветвляющийся поток 203, 208, 209
 Реван, свита 55
 Регрессивные морские пески 136, 148

- Ред-Ок 156
 Ред-Форк, песчаник 49, 119
 Ред-Эрт, месторождение 38
 Режим газовой шапки 41, 43, 48
 Режим растворенного газа 65, 129, 131
 Реймерс-Лейн-Харт, тренд 68
 Рельеф фундамента 40
 Репетто, песчаники 179, 191
 Речные отложения 24
 Речные террасы 60
 Риклус, месторождение 63
 Рирдон, свита 70
 Роздейл, месторождение 179
 Роздейл, песчаник 185
 Розет, месторождение 65
 Ротлигенд, красноцветные слои 219
 Русла рек 19
 Русловой песок 19, 27, 30
 Русловые отложения 24
 Русская платформа 94
 Сабр, месторождение 154
 Сабха 220
 Садл-Крик, свита 86
 Саллиардс, тренд 119
 Самах, месторождение 211
 Сан-Хоакин, бассейн 191
 Сан-Хуан, бассейн 131, 159, 169
 Сарир, месторождение 211
 Саут-Гленрок, месторождение 61, 66
 Саут-Пайн-Холлоу, месторождение 94
 Саут-Серес, нефтегазовая залежь 49
 Саут-Уотерфлоу, месторождение 131
 Сбросообразование 73
 Седейлия, месторождение 151
 Сейлеб, свита 209
 Сейтхой, месторождение 179
 Сент-Питер, песчаники 160
 Сент-Чарльз, месторождение 43
 Сера, месторождение 58
 Сесфорд, месторождение 151
 Сибирская платформа 28
 Сидерит 128
 Силверсон, месторождение 103
 Сирт, бассейн 209
 Сиско, группа 87
 Скалл-Крик, свита 23, 62, 67, 69
 Слайвервилл, песчаник 40
 «Сланцевая нефть», окисленная нефть 41, 73, 163
 Слодовые элементы 58
 Слоттерен, месторождение 220
 Смайлл-Дьюар, месторождение 151
 Солончакъ 55, 56, 70, 72, 135, 163
 Солт-Крик, месторождение 132
 Спайро, песчаники 163
 Стененс, песчаники 179, 185
 Стенсвад, месторождение 46
 Суитграсс, свод 70
 Суифт, свита 70
 Сурат, бассейн 54
 Тайлер, месторождение 45
 Таскалуса, песчаники 20
 Тейпитс, песчаники 161
 Тектонические деформации 84
 Типот-Дом, месторождение 132
 Тирраварра, месторождение 54
 Тонкава, песчаники 159
 Торридон, свита 28
 Тотак, месторождение 131
 Трансгрессивные морские пески 156, 173
 Третичные отложения 38
 Триасовые отложения 38
 Трилобиты 162
 Тулачи, свита 53
 Турбидитные течения 178, 180, 181, 185, 192
 Уайт-Рим, песчаники 199
 Уайтсайд, месторождение 151
 Уапанука, свита 164
 Угольный пласт 32, 47, 56, 72, 87, 99, 119, 147, 173
 Уилбертон, месторождение 164
 Уилкокк, группа 102
 Уиснер, месторождение 24
 Ум-Сахм, свита 209
 Уобамен, свита 60
 Уоттенберг, месторождение 149
 Уплотнение 93, 139
 Уплотнение речных отложений 26, 27
 Уплотнение песков дельтового обрамления 83
 Уплотнение отложений берегового бара 112
 Уплотнение регрессивных морских песков 146
 Уплотнение трансгрессивных морских песков 159
 Уплотнение песков подводных морских долин 179
 Уплотнение песков приливных течений 198
 Уплотнение отложений аллювиальных конусов выноса 206
 Уплотнение золотых песков 216
 Уран 36, 38
 Условия осадконакопления 9—19
 Устьевого бар дельтовой протоки (рукава) 77
 Уэйбиско, пачка 51, 172
 Уэйкита, тренд 49
 Уэст-Лейк-Веррет, месторождение 25
 Уэст-Муркрофт, месторождение 68
 Уэст-Сол, месторождение 219
 Уэст-Торнтон, месторождение 187

- Фейетвилл, русло 28
 Флишевые фации 180
 Фолл-Ривер, песчаники 67
 Фолл-Сити, месторождение 102
 Фораминиферы 71, 151, 157, 173
 Форма песчаных тел 10, 76
 Форт-Саскачеван, месторождение 151, 153
 Фостер, песчаники 164
 Фрайо, песчаники 143
 Фрайо-Виксберг, тренд 103
 Фронтир, свита 132
 Фрутвейл, сланец 185
 Фэрделл, месторождение 151
- Хайлайт, месторождение 63
 Халфуэй, песчаники 167
 Хапсмен, сланец 23, 69, 154
 Хардин, месторождение 134
 Хардинсберг, серия 96
 Хартсхорн, песчаники 94
 Хасси-Рмель, месторождение 221
 Хит, свита 46
 Хлорит 128
 Хоккинс, месторождение 93
 Хом, песок 172
 Хорсшу, месторождение 169
 Хофенден, месторождение 31, 59, 98
 Худ-Беркауи, месторождение 221, 222
- Хусир, месторождение 151
- Цехштейн, эвапориты 221
- Ча-Ча, месторождение 131
 Чаньют, месторождение 35, 47
 Чарли-Лейк, свита 170
 Чатануга, сланец 95
 Ченнер, береговой вал пляжа 141
 Черепитчатое расположение слоев 145
 Чероки, свита 46, 119, 165
 Честер, серия 88, 96
 Четвертичная система 27, 38
 Чинл, свита 36
- Шайенн-Валли, месторождение 49
 Шайнарамп, свита 36
 Шайра-Стрик, месторождение 116
 Шейрон-Скул, месторождение 43
 Шеридан, месторождение 102
 Шнурковые пески 20, 35, 78, 86, 88, 90, 92, 119
 Шоштрин, месторождение 49
 Шоуграундс, песчаники 54
 Эвергрин, свита 55
 Эйвоц-Хилл, месторождение 151
 Электрокаротажная характеристика отложений прирусловой отмели 19
 Электрокаротажная характеристика песков дельтового обрамления 82
 Электрокаротажная характеристика отложений берегового бара 111
 Электрокаротажная характеристика регрессивных морских песков 143
 Электрокаротажная характеристика трансгрессивных морских песков 158
 Электрокаротажная характеристика песков подводных морских долин 177
 Электрокаротажная характеристика песков приливных течений 197
 Электрокаротажная характеристика отложений аллювиальных конусов выноса 205
 Электрокаротажная характеристика золотых песков 215
 Эллерсли, песчаники 31, 60, 97, 157
 Элк-Крик, месторождение 43
 Энтрада, свита 217
 Золовые пески 160, 213, 214
 Эриему, месторождение 100
 Эстуарий 28, 29, 59
 Эффективная мощность песчаников 94
 Юрика, месторождение 151
 Юрские отложения 38
 Юте, месторождение 127
 Язык дельты 81, 85
 Ярдарино-Донгара, месторождение 163

УКАЗАТЕЛЬ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ
НАЗВАНИЙ

- Австралия 52, 163, 189
 Алжир 221
 Алфалфа, округ, штат Оклахома, США 120
 Альберта, провинция, Канада 38, 56, 97, 98, 151, 171
 Альбукерке, штат Нью-Мексико, США 37
 Андаманское море, Индийский океан 137
 Андаманские острова, между Бенгальским заливом и Андаманским морем 183
 Андерсон, округ, штат Канзас, США 48
 Арабская Республика Египет 138, 210
 Аризона, штат 36, 161
 Аравийский полуостров, Юго-Западная Азия 210
 Аргентина 218
 Ассам, штат, Индия 72
- Бангладеш 179
 Батлер, округ, штат Канзас, США 119
 Бейкерсфилд, город, штат Калифорния, США 185
 Биллингс, город, штат Монтана, США 45, 114
 Бирма 138
 Бразилия 121, 217
 Британская Колумбия, провинция, Канада 166
- Ваал, рукав р. Рейн, Нидерланды 59
 Вайоминг, штат, США 66, 132, 133
 Венесуэла 104, 157
 Венецианский залив, Адриатическое море; северо-восточное побережье Апеннинского полуострова 139
 Виктория, штат, Австралия 181, 183, 189
 Виргиния, штат, США 42
 Восточная Англия 219
 Вудсен, округ, штат Канзас, США 119
- Гаага, Нидерланды, административный центр провинции Южная Голландия 59
- Галвестон, остров, Мексиканский залив, США 125
 Ганг — Брахмапутра, речная система, впадает в Бенгальский залив, Пакистан и Индия 183
 Гранд-Айл, штат Луизиана, США 110
 Гранд-Каньон, штат Аризона, США 161
 Грант, округ, штат Оклахома 120
 Гринвуд, округ, штат Канзас, США 119
 Джексон, округ, штат Западная Виргиния, США 42
- Западная Австралия, штат, Австралия 163
 Западно-Корейский залив, Желтое море, между полуостровами Корейским и Ляодунским 195
- Иллинойс, штат, США 30, 31, 96
 Индиана, штат, США 34
 Индия 72, 183
 Индонезия 174
 Иордания 209
 Иравади, река, впадает в Андаманское море, Бирма 138
 Италия 139
- Кавказские горы 74
 Калифорния, штат, США 179, 185, 187, 191, 204
 Калхун, округ, штат Западная Виргиния, США 42
 Канзас, штат, США 35, 48, 119
 Каньон Беринга, Берингово море, США 175
 Каньон Жемчуг, Берингово море, США 175
 Каньон Прибылова, Берингово море, США 175
 Каули, округ, штат Канзас, США 119
 Квинсленд, штат, Австралия 54
 Кей, округ, штат Оклахома, США 150
 Колорадо, штат, США 36, 149, 154, 217
 Конго, река 28, 188
 Коффи, округ, штат Канзас, США 119
 Крик, округ, штат Оклахома, США 96

- Лайон, округ, штат Канзас, США 119
Ливия 198, 210, 211
Линкольншир, графство, Великобритания 219
Лонг-Айленд, остров, Атлантический океан, у восточного побережья США 107
Луизиана, штат, США 108, 142
Мадре, лагуна, юго-восточное побережье США 107
Мак-Лейн, округ, штат Пенсильвания, США 40
Мейджор, округ, штат Оклахома, США 51
Мексиканский залив, часть Атлантического океана 107, 108, 109
Миннесота, штат, США 160
Мичиган, штат, США 118
Миссисипи, штат, США 30
Миссисипи, река, впадает в Мексиканский залив, США 19, 75, 77
Миссисипи, дельта 140
Монтана, штат, США 45, 70, 90, 114, 147
Нанчез, город, штат Миссисипи, США 30
Небраска, штат, США 23
Нигер, река, впадает в Гвинейский залив 75
Нигерия 100
Нидерланды 59
Новата, округ, штат Оклахома, США 47
Новая Шотландия, полуостров, северо-восточное побережье Северной Америки; Канада 193
Нью-Йорк, штат, США 107
Нью-Мексико, штат, США 37, 38, 127, 147, 169
Огайо, штат, США 29
Оклахома, штат, США 35, 46, 91, 95, 119, 149, 164
Окфаски, округ, штат Оклахома, США 120
Осейдж, округ, штат Оклахома, США 150
Пекан, остров, Мексиканский залив, у южного побережья США 107
Пайк, округ, штат Индиана, США 34
Папуа 113
Пекан, остров, Мексиканский залив, вблизи побережья Луизианы 142
Пенсильвания, штат, США 40
Питтсбург, округ, штат Оклахома, США 94
По, река, впадает в Венецианский залив Адриатического моря, Италия 79, 81, 139
Побережье Мексиканского залива, США 107—109
Рейн, река, впадает в Северное море; Западная Европа 59, 60
Рио-Гранде, река, впадает в Мексиканский залив; на границе США и Мексики 92, 217
Рома, шельф, штат Квинсленд, Австралия 54
Рон, округ, штат Западная Виргиния, США 42
Сандия, горы, штат Нью-Мексико, США 202, 207
Саскачеван, провинция, Канада 147, 149, 151
Саутуэст-Пасс, главная протока дельты р. Миссисипи 78, 79
Сахара, пустыня, Северная Африка 218
Северная Африка 208
Северная Дакота, штат, США 45
Северное море, Атлантический океан 193, 194, 201, 219
Средиземное море 139
СССР 87, 90, 94
Сунда, шельф между островами Индонезии 174
Суэцкий залив, северо-западная часть Красного моря 210
Тайваньский пролив, между юго-восточным побережьем Китая и о-вом Тайвань 193, 197
Талса, округ, штат Оклахома, США 52
Тембалье, остров, Мексиканский залив, штат Луизиана, США 108
Теннесси, штат, США 28
Техас, штат, США 34, 84, 86, 102, 103, 134, 143
Техасское побережье Мексиканского залива 102
Уайт-Сандс, национальный памятник, США 214
Уилсон, округ, штат Канзас, США 119
Уругвай 218
Уэлд, округ, штат Колорадо, США 154
Уэстон, округ, штат Вайоминг, США 67
Фанди, залив, Атлантический океан, восточное побережье Северной Америки, Канада 193
Флай, река, впадает в залив Папуа Кораллового моря; о-в Новая Гвинея 113

Флорида, штат, США 34
Фор-Корнерс, район, находящийся на стыке четырех штатов — Юта, Колорадо, Аризона и Нью-Мексико 36
ФРГ 221
Чейс, округ, штат Канзас, США 119
Черное море 74
Шотландия, часть Великобритании 208
Эдмонтон, Канада, административ-
ный центр провинции Альберта 151, 172
Элк, округ, штат Канзас, США 119
Южная Австралия, штат, Австралия 52
Юкон, река, впадает в Берингово море; Канада и США 204
Юта, штат, США 36, 199

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редакторов	5
Благодарности	7
Предисловие к английскому изданию	8
Введение	9
Глава 1. Русла рек	19
Введение	19
Геоморфология	19
Электрокаротажная характеристика	22
Уплотнение	26
Древние песчаные тела	27
Русла Пьюласки и Фейетвилл, Теннесси	28
Русла Бедфорд, Огайо	29
Русло Анвил-Рок, Иллинойс	30
Русло Карбондейл, Иллинойс	31
Русла Грейам, Техас	34
Русла Бартлсвилл, Канзас	35
Русла Шайнарамп, Юта	36
Русло Джэкпайл, Нью-Мексико	36
Нефтяные и газовые месторождения	38
Нефтяное месторождение Ред-Эрт, Альберта	38
Нефтяная залежь Мьюзик-Маунтин, Пенсильвания	40
Газовое месторождение Кабин-Крик, Огайо	41
Зона Гей-Спенсер-Ричардсон, Виргиния	42
Зона песчаников Бетел, Кентукки	43
Нефтяное месторождение Тайлер, Монтана	45
Нефтяное месторождение Делавэр-Икстеншен, Оклахома	46
Нефтяное месторождение Буш-Сити, Канзас	48
Продуктивный песчаник Ред-Форк, Оклахома	49
Газовое месторождение Мумба, Южная Австралия	52
Газовое месторождение Пиканджинни, Квинсленд, Австралия	54
Нефтяное месторождение Муни, Квинсленд, Австралия	55
Битуминозные пески Атабаска, Альберта	56
Нефтяные месторождения Белшилл-Лейк и Хофенден, Альберта	59
Нефтяное месторождение Саут-Гленрок, Вайоминг	61
Нефтяное месторождение Риклус, Вайоминг	63
Нефтяные месторождения Донки-Крик, Розет и О'Коннор, Вайоминг	65
Нефтяные месторождения Койот-Крик и Миллер-Крик, Вайоминг	66
Зона Реймерс—Лейн—Харт, Небраска	68
Нефтяное месторождение Кат-Банк, Монтана	70
Нефтяное месторождение Нахоркатия, Ассам, Индия	72
Майкопское нефтяное месторождение, СССР	73
Глава 2. Пески дельтовых протоков и дельтового обрамления	75
Введение	75
Геоморфология	75
Электрокаротажная характеристика	82
Уплотнение	83
Древние песчаные тела	84
Аппалачская дельта США	84
Дельта Сиско, Техас	86

Волгоградская дельта, СССР	87
Выявление песков, выполняющих русла дельтовых проток	88
Нефтяные и газовые месторождения	91
Нефтяные месторождения, связанные с песчаниками Буч в Оклахоме	91
Газовое месторождение Саут-Пайн-Холлоу, Оклахома	94
Покровское нефтяное месторождение, СССР	94
Нефтяное месторождение Ист-Таскиги, Оклахома	95
Нефтяное месторождение Дейл-Консолидейтед, Иллинойс	96
Нефтяное месторождение Белшил-Лейк, Альберта	97
Залежь Белли-Ривер, месторождение Пембина, Альберта	99
Нефтяные месторождения Афиесере и Эриему, Нигерия	100
Нефтяные и газовые месторождения с продуктивными горизонтами в отложениях Уилкокк, Техас	102
Нефтяное месторождение Силигсон, Техас	103
Нефтяное месторождение Остра, Венесуэла	105
Нефтяное месторождение Мейш-Пасс, Блок-35, Луизиана	105
Глава 3. Барьерные и другие прибрежные бары	107
Введение	107
Геоморфология	107
Электрокаротажная характеристика	111
Уплотнение	112
Древние песчаные тела	114
Нефтяные и газовые месторождения	115
Газонефтяное месторождение Шайра-Стрик, Пенсильвания	116
Газовое месторождение Остин, Мичиган	118
Нефтяные месторождения тренда Саллиардс, Канзас	119
Нефтяные и газовые месторождения зоны Уэйкита, Оклахома	119
Нефтяное месторождение Олимпик, Оклахома	121
Нефтяные месторождения зоны Мата-Кату, Бразилия	121
Нефтяное месторождение Белл-Крик, Монтана	123
Нефтяное месторождение Гас-Дро, Вайоминг	127
Нефтяные месторождения Гарригтон и Кроссфилд, Альберта	127
Нефтяное месторождение Бисти, Нью-Мексико	129
Нефтяные месторождения Солт-Крик и Типот-Дом, Вайоминг	132
Газовое месторождение Биг-Пайни, Вайоминг	133
Нефтяное месторождение Хардин, Техас	134
Глава 4. Регрессивные пески морского побережья	136
Введение	136
Геоморфология	136
Электрокаротажная характеристика	143
Уплотнение	146
Древние песчаные тела	146
Нефтяные и газовые месторождения	148
Газовое месторождение Уоттенберг, Колорадо	149
Нефтяное месторождение Бербанк, Оклахома	149
Нефтяные и газовые месторождения в отложениях свиты Вайкинг, Альберта и Саскачеван	150
Нефтяное месторождение Сабр, Колорадо	154
Глава 5. Трансгрессивные пески морского побережья	156
Введение	156
Геоморфология	156
Электрокаротажная характеристика	158
Уплотнение	159
Древние песчаные тела	160
Нефтяные и газовые месторождения	162

Газовое месторождение Ярдарино-Донгара, Западная Австралия	163
Газовые месторождения Ред-Ок, Уилбертон и Кинта, Оклахома	164
Нефтяные месторождения в отложениях свиты Морроу, Оклахома	165
Нефтяное месторождение Миллиган, Британская Колумбия	166
Нефтяное месторождение Хоршшу, Нью-Мексико	169
Газовое месторождение Карбон, Альберта	171
Глава 6. Подводные долины	174
Введение	174
Геоморфология	174
Электрокаротажная характеристика	177
Уплотнение	179
Древние песчаные тела	180
Каньон Йокум, Техас	184
Каньон Роздейл, Калифорния	185
Нефтяные и газовые месторождения	186
Нефтяные и газовые месторождения Брентвуд, Датч-Слау и Уэст-Торнтон, Калифорния	187
Газовое месторождение Марлин, Виктория	189
Газонефтяное месторождение Вентура, Калифорния	191
Глава 7. Песчаные тела приливных течений	193
Введение	193
Геоморфология	193
Электрокаротажная характеристика	197
Уплотнение	198
Древние песчаные тела	198
Глава 8. Аллювиальные конусы выноса и песчаные покровы	202
Введение	202
Геоморфология	202
Электрокаротажная характеристика	205
Уплотнение	206
Древние песчаные тела	207
Нефтяные и газовые месторождения	210
Глава 9. Эоловые пески	213
Введение	213
Геоморфология	213
Электрокаротажная характеристика	215
Уплотнение	216
Древние песчаные тела	217
Нефтяные и газовые месторождения	219
Газовые месторождения Северного моря	219
Газовые месторождения Хасси-Рмель и Худ-Беркауи, Алжир	221
Список литературы	223
Предметный указатель	246
Указатель географических названий	251