

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (МПР РФ)

МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ (ГЕОКАРТ)

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР (ЦРГЦ)
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА (МГУ)

К 300-летию

*Горно-геологической службы
России*

ГЕОИСТОРИЧЕСКИЙ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Москва • 1999

Геосторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов. М., 1999. 524 с. (МПР РФ, ЦРГЦ, Геокарт, МГУ).

Обстоятельно продемонстрированы литолого-стратиграфические, био-стратиграфические, хроностратиграфические, сейсмостратиграфические и палеогеографические методы геосторического анализа осадочных бассейнов. Подробно рассмотрены вопросы технологии их численного моделирования, анализа структурной геологии и геодинамических обстановок формирования. Отражены современные приемы изучения осадочных бассейнов.

Книга рассчитана на геологов-съемщиков и поисковиков, специалистов в области региональной геологии, студентов вузов.

Ил. 260, табл. 5, список литературы — 509 наименований.

Серия методических руководств по геодинамическому анализу при геологическом картировании

Главный редактор серии Н. В. Межеловский

Зам. главного редактора А. Ф. Морозов

Редакционная коллегия выпуска

И. И. Абрамович, Г. С. Гусев (*отв. редактор*), Б. М. Демченко, А. Ф. Карпузов, А. С. Киреев, Н. В. Межеловский, М. В. Милиц, А. Ф. Морозов, А. М. Никишин, Д. В. Рудкович, Н. И. Сычкин, В. Е. Хаин (*научный редактор*), А. А. Ширшов

А В Т О Р Ы

А. М. Никишин, А. В. Еришов, Л. Ф. Конаевич, А. С. Алексеев,
Е. Ю. Барабайкин, С. Н. Болотов, А. Б. Веймарн, М. В. Коротаев,
П. А. Фокин, А. В. Фурис, И. В. Шалимов

Г 1804030000 - 009

9P8(03) - 1999

- © Министерство природных ресурсов Российской Федерации (МПР РФ), 1999
- © Центральный региональный геологический центр (ЦРГЦ), 1999
- © Межрегиональный центр по геологической картографии (Геокарт), 1999
- © Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (МГУ), 1999
- © Коллектив авторов, 1999

ПРЕДИСЛОВИЕ

Осадочные бассейны — крупные области (по Н. Б. Вассоевичу площадью более 1 000 км²), в которых происходит или происходила аккумуляция — накопление осадков и превращение их в осадочные горные породы. Современные осадочные бассейны, эпиконтинентальные шельфовые моря и океаны занимают 71 % поверхности Земли, а осадочные бассейны геологического прошлого (по А. Б. Ронову — осадочный чехол, сложенный слоями метаморфизованными породами) составляет 80 % современной суши [Стратисфера..., 1993]. На территории России только осадочные бассейны Восточно-Европейской и Сибирской древних платформ, Западно-Сибирской и Скифской молодых платформ имеют суммарную площадь около 10 млн км², занимаемая таким образом около 60 % суши страны. К этому нужно приплюсовать территории гигантских шельфов Северного Ледовитого океана и Дальнего Востока, а также территории деформированных осадочных бассейнов, которые занимают не менее половины Уральской, Таймыро-Североземельской, Алтае-Саянской, Монголо-Охотской, Верхояно-Чукотской, Сихотэ-Алиньской и Корякско-Камчатской складчатых областей. Таким образом, можно говорить о том, что подавляющая часть территории России занята разновозрастными и разнотипными осадочными бассейнами. Ясно, что без их обстоятельного исследования не может быть и речи об оптимальном познании геологического строения территории нашей страны и ее минерагенического потенциала.

Осадочные бассейны платформенных и складчатых областей России практически целиком покрыты среднемасштабной геологической съемкой, поэтому их приповерхностное строение обследовано более или менее удовлетворительно. Но горизонты осадочных бассейнов, скрытые на глубине, как в России, так и за рубежом, изучены весьма схематично. Это касается и нефтегазоносных бассейнов, в которых в основном и сосредоточены работы по глубинному геологическому картированию осадочных толщ и проведен огромный объем разноплановых научных седиментологических исследований.

Существенный вклад в изучение осадочных бассейнов дна океанов и окраинных морей внесли фундаментальные разработки по Програм-

Часть II

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Данная часть посвящена математическим моделям, применяемым в анализе бассейнов, и она рассчитана на читателя, владеющего математическим аппаратом. Основное внимание здесь будет сосредоточено на формулировке математических соотношений, адекватно (согласно современному представлению) описывающих реальность и допускающих численное решение. Сами эти решения и их геологические следствия почти не будут рассмотрены, так как это потребовало бы значительного увеличения объема книги. Однако приведенные библиографические ссылки позволяют заинтересующемуся читателю самостоятельно получить необходимую информацию. Ссылки даются на работы на русском языке (оригинальные или переводные), но очень часто такой возможности не существует, да авторы и не стремились дать полного обзора всех существующих на данный момент моделей. Как правило, после изложения общих принципов, излагается какая-либо одна из большого многообразия имеющихся моделей только для того, чтобы проиллюстрировать способ приложения соотношений, описывающих какие-либо частные процессы, к реальности, в которой все они (взаимо) действуют одновременно. Результаты в большинстве рассматриваемых здесь моделей могут быть получены лишь с применением компьютерных расчетов, поэтому слова «математическое моделирование» и «компьютерное моделирование» часто используются как синонимы.

Осадочные бассейны являются длительно существующими мегаструктурами пониженного рельефа и поэтому служат как бы «естественными ловушками» для вещества, образующегося при разрушении горных поясов, а также некоторой «фабрикой», в которой под действием давления, температуры, химических превращений и времени это вещество превращается в породу. Сложность геологических систем, как правило, исключает точное аналитическое решение соответствующих задач, и поэтому для получения адекватных результатов необходимо

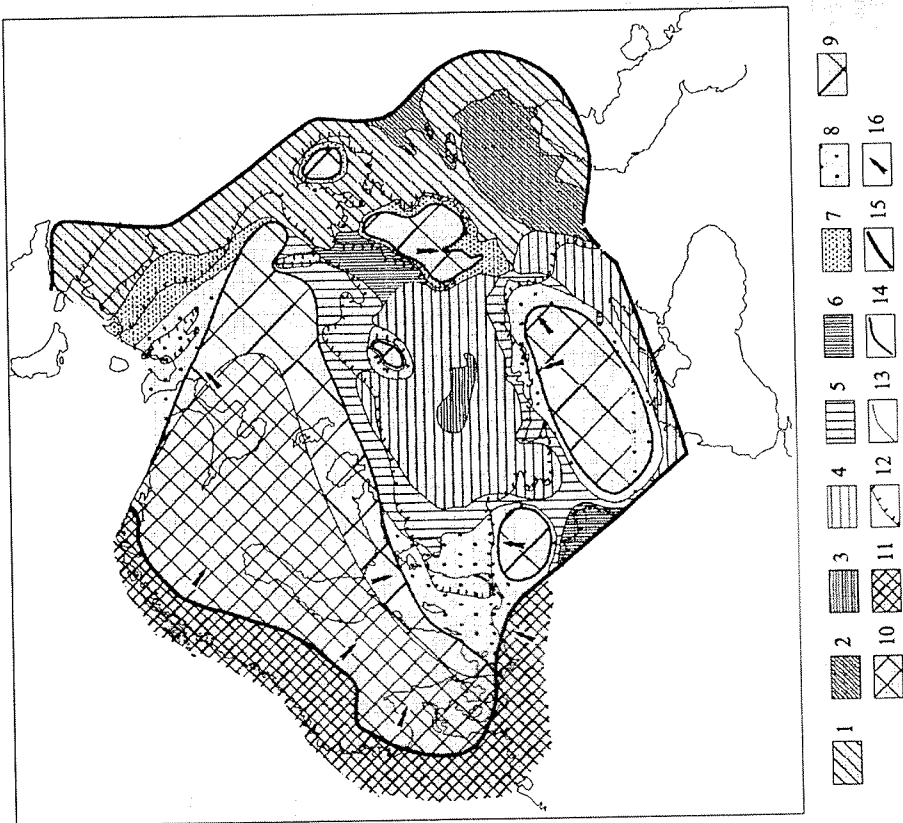


Рис. 1.86. Палеогеографическая карта Восточно-Европейской платформы и прилегающих областей для раннеэфельского времени (бийское время). Сост. П. А. Фокин, 1997.

1-11 — палеогеографические обстановки: 1 — мелкое шельфовое море нормальной солености, 2 — морские относительно глубоководные шельфовые впадины, 3 — бассейн резко повышенной солености, 4 — морской бассейн с относительно повышенной соленостью, 5 — прибрежная область чередования обстановок лагун с повышенной и пониженной соленостью, 6 — морской бассейн с неустойчивой соленостью, меняющейся от повышенной до пониженной, 7 — область развития прибрежно-морских и аллювиально-дельтовых обстановок осадконакопления, 8 — континентальные аллювиальные равнины, 9 — преимущественно размываемая область низкой равнины, 10 — высокая равнина, 11 — гористая суша; 12 — граница временного распространения оглозженной данного возраста; 13 — границы палеогеографических областей; 14 — предполагаемые границы областей размываемой суши; 15 — предполагаемые границы Восточно-Европейской платформы для рассматриваемого времени; 16 — основные направления сноса обломочного материала.

можно проводить численные расчеты с использованием быстроедействующих компьютеров. Компьютерное моделирование интенсивно развивалось в течение последних 30 лет вместе с развитием компьютеров, и сегодня оно является одним из основных исследовательских методов в разных областях науки, в том числе и в геологии. Существует несколько традиционных направлений, изучающих разные аспекты протекающих в осадочных бассейнах процессов, такие как тектоника, гидрология, седиментология, механика пород, геохимия, но только комплексные исследования позволяют надеяться на значительный успех при моделировании всего бассейна. В последнее время получено множество результатов по разным бассейнам, и поэтому появилась возможность сопоставлять их между собой. Каждый бассейн обладает своей спецификой строения, эволюции и степени изученности. Эти три особенности и определяют набор применяемых методов и подходов моделирования. Однако для сопоставления важно, чтобы исходные принципы моделирования разных бассейнов были общие.

Все модели делятся по методу моделирования на *прямые* (forward) — по заданным уравнениям и набору начальных и граничных условий строится решение «вперед во времени» и *обратные* (inverse) — по заданным результатам необходимо определить процесс «назад во времени». Все задачи в геологии — обратные, однако построить обратную модель гораздо сложнее чем прямую, и поэтому обратные задачи часто решаются путем многократного решения прямой с изменяемыми начальными и граничными условиями.

Все техники моделирования бассейнов можно разделить на (1) структурные и кинематические реконструкции и (2) модели процессов (механические, термические, гидрологические, геохимические, физико-химические, седиментологические и т. п.). По решаемым задачам выделяются задачи восстановления истории погружения, тектониче-ски, термической истории, истории генерации и миграции углеводородов, истории формирования и разрушения ловушек нефти и газа. Схема, показывающая взаимоотношение разных методов моделирования, исходных данных и результатов приведена на рис. 2.1 (см. прил.).

Все процессы, определяющие эволюцию осадочного бассейна, можно разделить на три группы (по месту, где они происходят):

1. процессы в литосфере (реакция литосферы на приложенные напряжения, теплотеренос, фазовые превращения вещества литосферы);
2. поверхностные процессы, в первую очередь осадконакопление (эрозия, перенос и осаждение обломочного осадочного материала, образование и накопление хемо/биогенного);
3. процессы в осадочном чехле (механические процессы (складко/надвиго/сбросо/диапиробразование), процессы тепломассопереноса

(теплотеренос и миграция флюидов) и локальные физико-химические превращения).

Последняя группа особенно нас и интересует, однако модели первых двух групп также необходимы, так как именно они и определяют вещество и структуру бассейна, а также граничные и начальные условия для процессов третьей группы.

Начнем с рассмотрения кинематических реконструкций истории погружения осадочного бассейна, затем перейдем к рассмотрению процессов. В конце будет дано несколько примеров моделирования.

2.1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСТОРИИ ПОГРУЖЕНИЯ ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА

Впервые качественный график истории погружения бассейна был использован П. Лемуаном в 1911 г. (рис. 2.2) как иллюстрация общей истории геологического развития Парижского бассейна [Lemoine, 1911]. В 30–40-х годах подобные же графики использовал в своих работах С. Бубнов. Данный подход широко практиковался в нашей стране, начиная с тридцатых годов (построение *эпигеогенических кривых*). Однако массовому использованию метода препятствовало отсутствие абсолютной геохронологической шкалы и значительная трудоемкость процедуры построения. Развитие микропалеонтологической и техники абсолютных датировок стратиграфических подразделений позволило преодолеть первое препятствие. Это дало возможность перейти от качественных геосторических диаграмм к количественным графикам *истории погружения бассейна*. Для характеристики данного количественного подхода Ван Хинте [Van Hinte, 1978] предложил термин *геоисторический анализ*. Бурное развитие компьютерных технологий позволило автоматизировать эту процедуру и, кроме того, ввести поправку на уплотнение пород с глубиной. В компьютерном варианте техника восстановления истории погружения по скважинным данным с использованием процедуры последовательного снятия слоев и введением поправки на уплотнение пород была впервые использована Стеклером и Вотсом [Steckler, Watts, 1978] и затем усовершенствована Склятером и Кристи [Sclater, Christie, 1980]. В последнее десятилетие этот метод получил широкое распространение и стал необходимой деталью при изучении практически любого бассейна. Эта технология была распространена и на двухмерный и трехмерный случаи.

Параллельно этому развивались некоторые другие методики структурного анализа, такие как построение балансируемых разрезов и их восстановление, которые применялись к орогенным областям. Однако общие принципы, использованные в этих методиках, оказались возмож-

2.1.1. ОБЩИЙ ПРИНЦИП КИНЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Наиболее характерной чертой осадочного покрова является его слоистая структура, которая отражает процесс накопления осадков. Слоистость осадочного разреза может рассматриваться не только как основная черта строения геологического тела, но и как запись процесса образования этого тела, так называемая **осадочная летопись**. Это дает возможность поставить обратную кинематическую задачу — расшифровать эту летопись, т. е. восстановить кинематику погружения бассейна.

В общем три основных фактора участвуют в образовании осадочной летописи. Во-первых, тектонические движения земной коры, приводящие к образованию рельефа, определяющего процессы эрозии и седиментации, во-вторых, эвстатические колебания уровня моря, служащего необходимым агентом в этих процессах и, в-третьих, сами процессы размыва и переноса обломочного материала, образования био- и хемогенных отложений.

В качестве основы при расшифровке можно принять следующую «кинематическую» модель образования осадочной записи. Погружение и эвстатические колебания уровня моря создают просторство, которое в дальнейшем может быть заполнено осадками (accommodation space). Заполнение аккомодационного просторства определяется процессами осадконакопления, которые в свою очередь зависят от поступления осадочного материала.

Для расшифровки осадочной летописи в первую очередь следует разделить три вышеуказанных фактора, причем чисто кинематический. Иногда это возможно, иногда нет, особенно это касается первого и второго факторов. Очень часто первый фактор значительно превосходит два других, и поэтому можем рассмотреть последние как «поправки» к истории погружения, восстановленной исходя из учета только главного фактора. Кроме того, во многих случаях осадконакопление является скомпенсированным, т. е. осадки заполняют аккомодационное просторство сразу, как только оно образуется. В этом случае можно пренебречь третьим фактором.

Основной принцип восстановления истории погружения достаточно прост: снимаем последовательно слой за слоем, приводим разрез к виду, существовавшему в прошлом. При этом необходимо учитывать три следующих основных фактора:

1. Геологический разрез описывается как последовательность этапов развития, а история погружения как последовательность этапов развития. Для осуществления возможности перехода от одного описания к другому необходимо перевести данные исходного геологического разреза

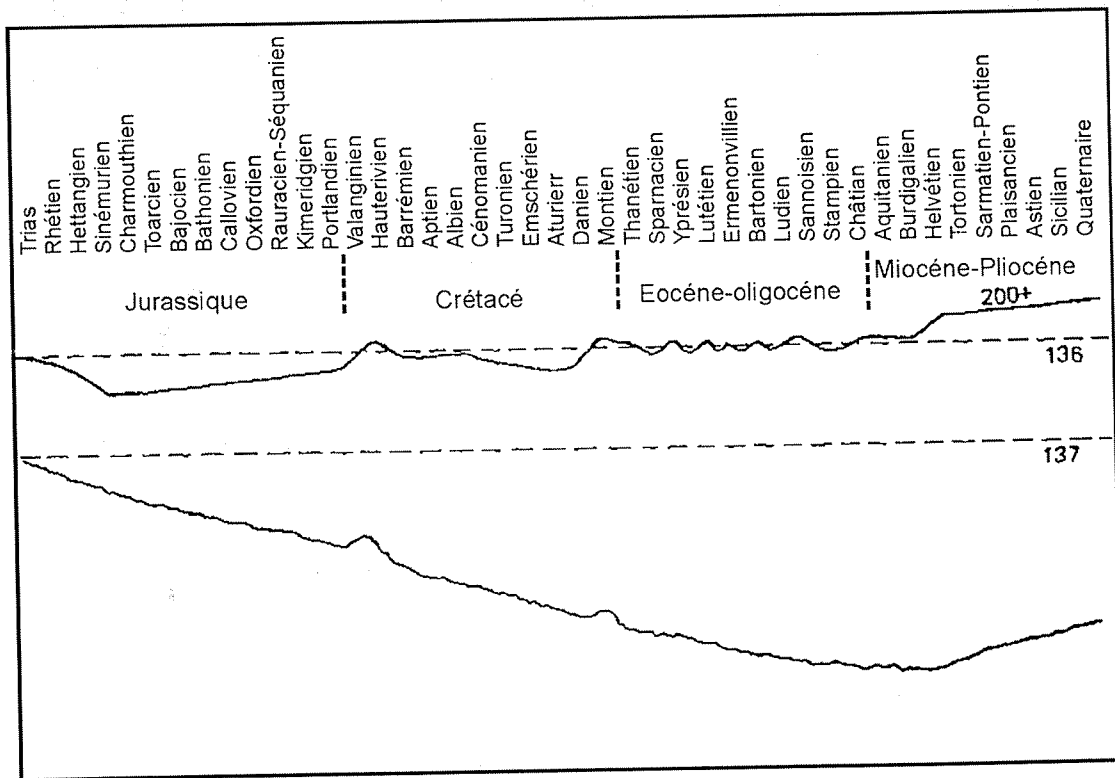


Рис. 2.2. Кривая погружения Парижского бассейна. По [Lemoine, 1911].

ным применить при структурных реконструкциях осадочных бассейнов. Объединим все эти техники под общим названием: *кинематический анализ осадочного бассейна*, подразумеваемая под этим восстановленные истории погружения бассейна и накопления там осадочных толщ на основании его современной структуры (геометрии) и стратиграфии чисто кинематическим (геометрическим) путем.