

Глава 1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

1.1. Ранние научные гипотезы развития Земли

Обычно появлению новых идей в науке предшествуют длительные периоды накопления фактических данных, большинство из которых не укладывается в рамки старых концепций о физической сущности тех или иных природных явлений и процессов. Однако процесс восприятия и особенно внедрения в практику новых научных теорий часто оказывается очень длительным. Это связано с тем, что революционные идеи в науке, как правило, затрагивают давно устоявшиеся и ставшие привычными представления. Но даже тогда, когда новые теории в основе своей уже разработаны, они далеко не сразу завоевывают признание в научном мире. Новую теорию еще необходимо доказывать, а для этого требуется много времени, затрачиваемого на постановку контрольных экспериментов и всестороннее сопоставление теории с практикой, хотя не меньшее время уходит и на простое переучивание и переубеждение членов научного сообщества, что тормозит признание новых идей и теорий.

В истории развития науки имеется много тому классических примеров. Но наиболее ярким из них, вероятно, по-прежнему является драматическая история становления идеи о гелиоцентрическом строении Солнечной системы. Действительно, из повседневного опыта людей казалось столь очевидным, что именно Солнце движется по небосводу вокруг неподвижной Земли, а не наоборот. Именно по этой простой причине большинство современников Н. Коперника не восприняло его революционной идеи о вращении Земли и всех остальных планет вокруг Солнца, изложенной им в 1543 г. в знаменитом труде “Об обращении небесных кругов”. Даже такой выдающийся мыслитель эпохи Возрождения, как Ф. Бэкон, материалист и основатель индуктивного метода познания в естествознании, и тот через 50 лет после выхода этой работы не воспринял новых революционных идей. Так, критикуя Коперника, Ф. Бэкон заявлял, что в его системе много существенных затруднений, потому что движение (вокруг Солнца), которым он утруждает Землю, представляет серьезное неудобство, а отделение Солнца от планет, с которыми у него столько общего, весьма рискованный шаг.... За дальнейшее развитие идей Коперника и их обобщение на все мироздание в 1600 г. инквизицией был сожжен философ Дж. Бруно, а еще позже, почти через 100 лет после опубликования работы Коперника, за приверженность его идеям инквизиция судила великого Галилео Галилея.

В несравненно менее трагической форме, но тоже с большим трудом происходило утверждение новых идей и в геологии. Наиболее общие геологические гипотезы развития Земли всегда играли важную роль в формировании естественнонаучного мировоззрения геологов. Здесь мы не будем касаться предистории развития научных взглядов на происхождение и геологическую эволюцию Земли, так как этому посвящено много других работ. Отметим лишь первую научно обоснованную и для своего времени (30-е годы XIX в.) весьма прогрессивную геологическую гипотезу, носившую явно концептуальный характер и позволявшую искать причинно-следственные связи в геологических явлениях – с контракционную гипотезу Эли де Бомона. Напомним, что эта гипотеза исходила из представлений Канта – Лапласа о “горячем” происхождении Земли, якобы возникшей из сжимающегося сгустка разогретой газообразной материи. Отсюда делался вывод, что по мере остывания Земли ее размеры существенно уменьшались, а внешняя оболочка – земная кора – соответственно сокращалась по площади и подвергалась сжатию, благодаря чему на поверхности возникли горные сооружения и складчатые пояса осадочного чехла.

Несмотря на свою кажущуюся физичность, эта стройная для XIX в. гипотеза не выдержала количественной проверки на соответствие законам физики, не смогла объяснить основные закономерности геологического развития Земли и никак не вписывалась в современные представления о “холодном” происхождении планет Солнечной системы за счет аккреции пылевого протопланетного облака. Тем не менее эта кажущаяся физичность и внутренняя красота контракционной гипотезы буквально заворожала геологов, благодаря чему она господствовала в геологии около 100 лет, дожив до 30-х годов XX в.

Долговечность контракционной гипотезы в геологии, подобно Птолемеевой системе мироздания, дополнительно подпитывалась “очевидностью” наших обыденных представлений о неизбежности взаимных расположений материков: казалось, что горные породы так прочны, а массы континентов столь велики, что нет сил, кроме сил сжатия, способных сдвинуть материки с места и изменить их взаимное расположение на поверхности Земли. Именно под влиянием таких представлений в теоретической геологии сама собой как “очевидная” точка зрения возникла фиксистская концепция, согласно которой все геологические структуры, включая континенты, горные сооружения, океаны, их дно и острова, всегда находились на поверхности Земли только в строго фиксированном положении. Даже складчатые горные сооружения, по этой концепции, возникали только за счет вертикальных движений и без всяких заметных горизонтальных смещений. В рамках такой фиксистской концепции любые сколько-нибудь значительные горизонтальные перемещения геологических структур полностью исключались.

Фиксистский барьер “очевидности” впервые удалось перешагнуть еще в конце XIX в. английскому пастору и талантливому физическому Османду Фишеру, который изложил свои революционные идеи в незаслуженно забытом труде с вполне современным названием “Физика земной коры” (Fisher, 1889). Заметим, что в этой же работе О. Фишер, исходя из идеи об изостатическом равновесии материков и задолго до разработки геофизических методов исследования, впервые правильно определил среднюю толщину континентальной земной коры в 20–25 географических миль, т.е. 37–46 км (в среднем около 40 км).

В противоположность господствовавшим тогда представлениям о доминировании напряжений сжатия О. Фишер исходил из факта одновременного существования на Земле структур растяжения и сжатия. К первым он относил рифтовые зоны, проходящие через Исландию, Срединно-Атлантическое плато (как тогда называли Срединно-Атлантический хребет), Восточную Африку и другие подобные структуры, а ко вторым – Тихоокеанский подвижный пояс, характеризующийся развитием андезитового магматизма и резко повышенной сейсмичностью. За основу геодинамической модели развития земной коры О. Фишер принял закономерности движения лавовых корок, образующихся при остывании магмы в лавовом озере вулкана Килауэа, на Гавайи. Эти корки всегда перемещались от открытых трещин, заполнявшихся огненно-жидкой магмой (из которой при остывании и формировались сами корки) к местам их торшения и погружения в глубины расплавленной магмы лавового озера. Экстраполируя свои наблюдения на земную кору, Фишер заключил, что океаническая кора также образуется за счет излияния базальтов из трещин в зонах ее растяжения, таких, например, как Исландия, осевой хребет в Атлантическом океане и другие аналогичные структуры, а поглощение океанической коры происходит по периферии Тихого океана в зонах сжатия, где океаническое дно опускается под островные дуги и континентальные окраины. Этот-то подвиг океанической коры под континентальную и приводит к возникновению землетрясений под Тихоокеанским подвижным поясом. Движущим механизмом, перемещающим блоки земной коры, по мнению Фишера, служат конвективные течения вещества подкорового субстрата.

Просто поразительно, как за 70–80 лет до появления основополагающих работ по современной геологической теории – тектонике литосферных плит – была нарисована столь близкая к ней модель развития геологических процессов на Земле. Однако идеи Фишера слишком опередили свою эпоху и не были по достоинству оценены современниками. К тому

же геологи в то время еще так мало знали о строении и составе океанического дна, что фактический материал, подтверждающий его гипотезу о важнейшей роли океанической коры в тектонике Земли, тогда еще практически отсутствовал. Теперь приходится только гадать, насколько быстрее пошло бы развитие современной геологии, если бы идеи Фишера были восприняты его современниками.

О. Фишер признавал существование крупномасштабных горизонтальных перемещений континентов и отдельных блоков коры. Поэтому, в отличие от прежних представлений о фиксированном положении геологических структур по контракционной гипотезе, его концепция была первой научно обоснованной концепцией мобилизма.

Следующий шаг в развитии идей мобилизма сделал выдающийся немецкий геофизик Альфред Вегенер, опубликовавший в 1912 г. свою знаменитую гипотезу дрейфа континентов. Он не просто предположил возможность существования крупномасштабных горизонтальных перемещений континентов, но и выдвинул целую систему обоснованных доказательств в пользу этого явления. Доказывая реальность дрейфа материков и распада некогда единого суперконтинента – Пангеи, А. Вегенер в качестве главных аргументов отмечал следующие факты: необычайное сходство очертаний западных и восточных береговых линий Атлантического океана; однотипность геологического строения смежных материков, окружающих этот океан; общность древней палеозойской и мезозойской фауны и флоры на разобщенных ныне материках, а также следы почти одновозрастного (позднепалеозойского) покровного оледенения в Южной Америке, Южной Африке, Индии и Австралии, т.е. на материках, удаленных в настоящее время друг от друга на 10 — 15 тыс. км. К сожалению, с трагической смертью А. Вегенера в Гренландии в 1930 г., куда он отправился за дополнительными доказательствами своих идей, его смелая гипотеза была предана забвению.

Почему же и на этот раз прогрессивные идеи не были восприняты геологами? Помимо определенного консерватизма, свойственного научному сообществу (кстати, такой консерватизм иногда бывает вполне оправдан, поскольку он защищает науку от принятия легковесных гипотез), главную роль здесь сыграло ошибочное объяснение А. Вегенером механизма дрейфа континентов. А. Вегенер по образованию был метеорологом и ему были близки представления о большом влиянии на механизмы перемещения воздушных масс и океанических течений вращения Земли и приливных взаимодействий атмосферы и гидросферы с Луной. Поэтому он предполагал, что и перемещения материков происходят под влиянием ротационных сил и приливных взаимодействий Земли с Луной, т.е. благодаря чисто внешним воздействиям. Элементарная проверка расчетами показала, что подобные воздействия на много порядков слабее тех сил, которые могли бы в действительности сместить с места материк. Но весь парадокс ситуации состоял в том, что вместе с ошибочным механизмом вегенеровской гипотезы “выплеснули из купели” и его совершенно правильные аргументы в пользу реальности самого факта существования дрейфа континентов - ведь ни один из его геологических аргументов так никогда и не был опровергнут.

Не помогло идеям мобилизма и гипотезе дрейфа континентов и появление в 1928 г. работы известного геолога Артура Холмса, повторно высказавшего предположение о существовании в недрах Земли конвективных течений, как тогда говорили, подкорового субстрата. В качестве источника энергии этих движений А. Холмс предложил рассматривать распад радиоактивных элементов.

Если бы А. Вегенер для объяснения дрейфа континентов воспользовался механизмом конвекции О. Фишера или А. Холмса, может быть, периода забвения идей мобилизма и не было бы, а современная геологическая теория была бы создана лет на 30–40 раньше. Но произошло иначе, и для нового возрождения этих прогрессивных идей потребовалось длительное время, прежде чем накопились новые факты, не укладывавшиеся в устоявшиеся фиксистские представления, не только подтверждавшие факт существования дрейфа континентов, но и открывшие новое явление – раздвижение океанического дна.

1.2. Разработка современной теории формирования литосферной оболочки Земли

Большую роль в возрождении идей мобилизма и создания на их базе современной геологической теории сыграли палеомагнитные исследования на континентах. Изучение магнитных свойств горных пород показало, что породы, содержащие магнитные минералы, способны “запоминать” древнее магнитное поле Земли. Определение параметров этого поля по образцам пород с разных континентов привело известных физиков П. Блеккета и С. Ранкорна и других геофизиков в начале 60-х годов к интересному и чрезвычайно важному выводу: с течением времени положение всех материков на поверхности Земли существенно менялось. Но если расположить эти материки таким образом, чтобы их палеомагнитные полюса позднего палеозоя совпали с современными географическими полюсами, то неожиданно получалась реконструкция суперконтинента Пангея, модель которой впервые построил А. Вегенер еще за 25 лет до появления самих палеомагнитных данных.

Однако главный вклад в теорию был получен только после проведения широкомасштабных международных исследований геологического строения океанского дна и связанных с ним полосчатых магнитных аномалий в 50–60-х годах. В те годы, особенно во время проведения исследований по программам Международного геофизического года (1957 г.), были открыты полосчатые магнитные аномалии на океаническом дне и крупнейшие подводные хребты, протянувшиеся по осевым зонам молодых океанов и опоясавшие всю Землю непрерывной цепью длиной более 60 тыс. км. Оказалось также, что по гребням этих срединно-океанических хребтов располагаются глубокие трещины растяжения – рифтовые зоны, из которых всегда извлекались только свежие и молодые базальты. Это наводило на мысль, что одновременно с движениями континентов происходило обновление дна океанов. При этом одни океаны могли раскрываться, а другие, наоборот, сокращаться по площади. Возраст же дна всех без исключения океанов, судя по результатам драгирования донных пород, всегда оказывался сравнительно молодым - не более 140–150 млн лет, тогда как средний возраст самих континентов обычно превышает 2,5 млрд лет.

После проведения этих исследований старая гипотеза дрейфа континентов стала быстро возрождаться, но уже на более высоком научном уровне. В результате благодаря усилиям геофизиков и геологов разных стран мира, и прежде всего Г. Хесса, Р. Дитца, Дж. Вильсона, В. Моргана, К. Ле Пишона, Дж. Дьюи и др., эта гипотеза к концу 60-х годов XX в. переросла в современную и стройную научную концепцию, получившую наименование теории тектоники литосферных плит (описание теории см. в гл. 7).

Особенно большой вклад в ее создание внесли геофизики и геологи, занимавшиеся изучением строения и развития океанского дна. Так, в 1961 и 1962 гг. американские ученые геолог Г. Хесс и геофизик Р. Дитц повторно сформулировали основные идеи Фишера об образовании океанической коры в срединно-океанических хребтах, о молодости и расширении океанического дна, а также о погружении океанической коры в мантию Земли в зонах сопряженных структур островных дуг и активных окраин континентов Андийского типа с глубоководными желобами.

В 1963 г. английские геофизики Ф. Вайн и Д. Мэтьюз высказали исключительно смелое предположение, что полосчатые магнитные аномалии на океаническом дне представляют собой запись инверсий магнитного поля Земли в базальтах расширяющегося океанического дна, играющего роль природной “магнитной ленты” в гигантском “магнитофоне” Земли. На этом основании группа американских и французских геофизиков (Хейртцлер, Ле Пишон и др.) теоретически рассчитала возраст океанического дна. Оказалось, что практически по всем акваториям Мирового океана океаническое дно образовалось сравнительно недавно – только в кайнозойское и позднемезозойское время и что возраст океанического дна закономерно увеличивается при удалении от гребней срединно-океанических хребтов.

В 1965 г. канадский геолог Дж. Вильсон впервые обратил внимание на то, что жесткая оболочка Земли, ее литосфера, разбита на ряд плит, оконтуренных тремя типами границ: рифтовыми зонами, зонами поддвига плит и трансформными (чисто сдвиговыми) разломами.

В то же время известный английский геофизик Е. Буллард со своими коллегами впервые использовал теорему Эйлера, описывающую движение фрагментов жесткой оболочки по поверхности сферы, и современную вычислительную технику для построения количественных реконструкций положения дрейфующих континентов в прошлые геологические эпохи.

В 1968 г. американский геофизик В. Морган и французский геофизик К. Ле Пишон выделили наиболее крупные литосферные плиты и рассчитали параметры их движения по поверхности земного шара. Тогда же американские сейсмологи Б. Айзекс, Дж. Оливье и Л. Сайкс показали, что сейсмичность Земли, как правило, концентрируется вдоль границ литосферных плит и полностью определяется их взаимными перемещениями по земной поверхности.

В 1970 г. английские геологи Дж. Дьюи и Дж. Берд впервые рассмотрели с точки зрения новой теории развитие геосинклинального процесса, происхождение складчатости горных пород и возникновение горных поясов Земли. Им принадлежит разработка нескольких геодинамических моделей развития активных континентальных окраин и зон коллизии континентов. С этих же позиций японский геолог А. Миясиро изучил условия образования и проявления регионального метаморфизма пород и осадков в зонах поддвига плит. Другой японский геофизик, С. Уеда, подробно изучил механизмы погружения океанических литосферных плит в мантию в зонах поддвига плит (в зонах субдукции). Английский геолог Р. Силлитое, обобщив многочисленные данные по распространению рудных полезных ископаемых, пришел к заключению, что многие из них формируются только над зонами поддвига плит. При этом он обнаружил четкую зональность в распределении рудных элементов в зависимости от их подвижности: легкоподвижные рудные компоненты обычно концентрируются ближе к глубоководным желобам, т.е. выносятся на поверхность еще в начале зоны поддвига плит, тогда как менее подвижные и более тугоплавкие элементы и соединения концентрируются на большем удалении от берега океана, т.е. выносятся с больших глубин из зон поддвига плит. Следует также отметить фундаментальную работу А. Митчелла и М. Гарсона, рассмотревших с точки зрения тектоники литосферных плит глобальные тектонические позиции многих из минеральных месторождений.

1.3. Вклад российских ученых в развитие теории тектоники литосферных плит и глобальной геодинамики

В СССР восприятие новых идей в геологии происходило с большими трудностями. Объясняется это несколькими причинами. Во-первых, возможно, тем, что Советский Союз с его необъятными просторами почти целиком расположен на континентальной коре и главные усилия советских геологов были направлены на изучение строения территории страны, а не на выяснение проблем происхождения коры. Такой подход выработал и соответствующее “континенталистское” мышление, при котором континентальная кора принималась за первичное образование, а океаническая - за вторичное, производное образование (отсюда и возникновение популярной в свое время гипотезы Тетяева – Белоусова океанизации или базификации земной коры).

Второй причиной, по-видимому, является то, что в первой половине XX в. в СССР сформировалась сильная геологическая школа, в которой получила широкое развитие и практически всеобщее признание классическая форма геосинклинального учения. Согласно этому учению, полный цикл развития земной коры происходит как бы “in situ”, в рамках отдельных блоков коры со строго фиксированным пространством и без значительных

горизонтальных перемещений отдельных фрагментов коры и материков в целом. Но такой подход, к тому же ограниченный теоретическими рамками геосинклиналичного учения, способствовал выработке и соответствующего “фиксистского” мировоззрения у многих советских геологов, а это, естественно, сильно затрудняло восприятие новых мобилистских идей.

В качестве третьей, но далеко не последней причины существенного отставания Советского Союза от мирового уровня развития геологических наук в 70–80-е годы XX столетия следовало бы упомянуть административно-командный и авторитарный принцип управления наукой. Обстоятельства же сложились так, что во главе управления советской геологии долгое время находились руководители, негативно относившиеся к новым мобилистским идеям и особенно к созданной в середине 60-х годов новой геологической теории – тектонике литосферных плит. Естественно, что такое отношение к новому не могло не сказаться отрицательным образом на общем уровне развития геологических наук в нашей стране. По этому поводу вспоминается такой случай. В 1971 г. один из авторов данной монографии (О.Г. Сорохтин) подготовил статью, в которой делался теоретический прогноз о существовании в океанических рифтовых зонах и на склонах срединно-океанических хребтов мощнейших гидротермальных источников, выносящих около 30% излучаемого Землей тепла. На статью был дан отрицательный отзыв, обоснованный тем, что “нельзя на одну недоказанную гипотезу (имелась в виду тектоника литосферных плит) нанизывать другую, еще более фантастическую”. Поэтому статью пришлось без публикации помещать в диссертационную работу автора (1973 г.) и опубликовать ее только в 1974 г. в монографии “Глобальная эволюция Земли” (под редакцией В.Е. Хаина). В результате Советский Союз потерял приоритет в предсказании существования величайшего гидротермального пояса планеты, поскольку в 1972 г. аналогичная прогнозная статья была опубликована К. Листером (C. Lister, 1972).

По этим и некоторым другим причинам развитие идей мобилизма и разработка новой геологической теории в СССР шла не по государственным планам, а скорее вопреки им и в обход, за счет усилий отдельных энтузиастов и коллективов, официально не призванных заниматься такими проблемами. Тем не менее, ретроспективно оценивая вклад российских ученых в разработку новой геологической теории (в концепцию тектоники литосферных плит), теперь следует признать, что, несмотря на все трудности, этот вклад оказался достаточно весомым, особенно в области создания общей теории глобальной эволюции Земли.

В 20–30-х годах XX в. одним из активных пропагандистов идей мобилизма в Советском Союзе был академик А.А. Борисяк, активно поддерживавший гипотезу дрейфа континентов А. Вегенера. В конце 50-х годов П.Н. Кропоткин использовал палеомагнитные и геологические данные для доказательства существования дрейфа континентов и убедительно показал, что в прошлые геологические эпохи действительно происходили крупные перемещения отдельных континентов. В начале 60-х годов С.А. Ушаков и В.Е. Хаин на основании анализа геологических и геофизических данных по Антарктиде пришли к выводу, что этот материк обособился от других континентов гондванской группы только в результате дрейфа континентов. Несколько позже А.Н. Храмов по палеомагнитным данным сумел построить ряд палеогеографических реконструкций, показывавших положения континентов и океанов в разные геологические эпохи фанерозоя.

В 1969 г. известный советский геолог, академик А.В. Пейве, используя большой геологический материал, развил идею Г. Хесса о том, что встречающиеся во многих горных поясах мира офиолитовые покровы представляют собой фрагменты древней океанической коры, надвинутой на континентальные окраины. Обоснование этого предположения позволило получить представление о строении и составе океанической коры еще до начала бурения дна в океанах. Кроме того, эта идея явилась важным звеном в общей цепи

доказательств существования крупномасштабных перемещений отдельных блоков земной коры. Тогда же С.А. Ушаков показал, что нарушения изостазии в районах островных дуг объясняются динамическим эффектом поддвига океанических плит под эти структуры.

В начале 70-х годов XX в. выдающиеся советские геологи, члены-корреспонденты АН СССР В.Е. Хаин и П.Н. Кропоткин выступили с поддержкой и обоснованием новой геологической концепции, получившей затем наименование теории тектоники литосферных плит. В те же годы советскими океанологами (Сорохтин, Дмитриев, Удинцев, 1971) впервые был описан и рассчитан механизм образования континентальной коры за счет переплавления океанической коры и осадков, затаянутых в зоны поддвига плит. Позже удалось выяснить и рассчитать механизм образования океанических литосферных плит, на этом основании объяснить происхождение срединно-океанических хребтов, аналитически описать зависимость толщины плит и рельеф океанического дна от возраста литосферы или, что то же, от возраста коры. Кроме того, тогда же были описаны с точки зрения тектоники литосферных плит и возможные механизмы образования региональных надвигов и геосинклинальной складчатости (Сорохтин, 1973, 1972).

В середине и конце 70-х годов было теоретически предсказано явление затягивания осадков в зоны поддвига плит (Сорохтин, Лобковский, 1976). Несколько позже факт затягивания осадков под Курильскую островную дугу был подтвержден сейсмическими исследованиями (Гаркаленко, Ушаков, 1978), а затем и бурением у подножия дуги Малых Антильских островов (международный проект). Тогда же С.А. Ушаков, В.В. Федынский и независимо от них выдающийся морской геолог А.П. Лисицын (1974) по данным магнитных аномалий построили обобщенные варианты карт возрастов Мирового океана. Кроме того, он использовал признаки изменения условий осадконакопления для определения направлений и скоростей смещения океанических плит (1980) и фактически разработал теорию океанского седиментогенеза (1978–1984). В дальнейшем академик А.П. Лисицын и Ю.А. Богданов со своими коллегами (1987–1997) провели многолетние подробные исследования глобальной системы гидротермальных источников на океаническом дне, изучили их геохимию и связанный с ними процесс рудообразования.

Используя палеомагнитные данные и картину полосчатых магнитных аномалий на океаническом дне, А.М. Городницкий, Л.П. Зоненшайн и Е.Г. Мирлин (1978) построили новые палеогеодинамические реконструкции развития океанов в течение всего кайнозоя и позднего мезозоя. Несколько позже эти реконструкции были дополнены палеобатиметрическими картами древних океанов (Савостин, Седов и др., 1980, 1984). В эти же годы путем использования основных положений новой геологической теории, были построены карты мощности литосферных плит и суммарных теплопотерь через океаническое дно (Городницкий, Сорохтин, 1979; 1981).

В 80-х годах была решена задача о механизмах затягивания осадков на большие глубины под континенты (Монин, Сорохтин, 1986). Перспективной с точки зрения прогноза землетрясений оказалась разработанная Л.И. Лобковским в 1988 г. клавишная модель строения зон поддвига плит. Не менее интересна и предложенная им модель двухъярусной тектоники плит, учитывающая возможность возникновения чисто коровых пластин, перемещающихся по отношению к литосферным плитам под влиянием боковых давлений со стороны других плит в зонах столкновения (коллизии) континентов.

Помимо теоретических разработок и обобщения геологических материалов А.И. Шемендой широко проводилось физическое моделирование процессов деформации литосферных плит в зонах их поддвига под островные дуги для выяснения механизмов и условий возникновения надвигов, цунамигенных землетрясений, затягивания осадков в эти зоны и формирования аккреционных призм во фронтальных частях островных дуг. Кроме того, моделировались начальные стадии деформаций литосферных плит в условиях их сжатия и растяжения, а также условия возникновения и развития окраинных бассейнов.

Больших успехов советские, а затем и российские исследователи добились и в области приложений теории тектоники литосферных плит к задачам региональной геологии и проблемам полезных ископаемых. Так, еще в конце 60-х годов Р.М. Деменицкая и А.М. Карасик по магнитным аномалиям проследили историю раскрытия Евразийской котловины Северного Ледовитого океана и происхождение подводного хребта Ломоносова. В работах А.А. Ковалева (1972–1978) на базе новой теории даются классификация и металлогенический анализ основных структурных элементов земной коры по условиям ее образования и описываются основные закономерности распределения полезных ископаемых по отношению к границам литосферных плит. В работе Л.П. Зоненшайна, М.И. Кузьмина и В.М. Моралева (1976) с точки зрения тектоники литосферных плит рассматривается магматическая и металлогеническая зональность континентальных плит, а в работах А.А. Ковалева (1974), О.Г. Сорохтина, С.А. Ушакова, В.В. Федынского (1974, 1976), И.Е. Баланюк (1981, 1982), Д.И. Мусатова, Н.В. Межеловского (1982), В.П. Гаврилова (1980 – 1996), У.В. Кучурука, С.А. Ушакова (1985) идеи новой геологической теории используются для выяснения условий образования и основных закономерностей размещения месторождений нефти и газа.

С этих же позиций академик А.С. Монин и О.Г. Сорохтин в 80-х годах рассматривали природу уникальной металлогенической эпохи раннего протерозоя, общую геохимическую эволюцию земной коры и возможные механизмы концентрации рудных элементов в месторождениях полезных ископаемых. Уже в наше время удалось не только объяснить механизмы концентрации рудных элементов в земной коре раннего протерозоя, но и рассмотреть эти процессы на всем временном интервале развития Земли (Сорохтин, Старостин, Сорохтин, 2001). Теория тектоники литосферных плит успешно привлекалась и для рассмотрения наиболее вероятного механизма образования алмазоносных кимберлитов, щелочно-ультраосновных магматических пород и карбонатитов (Сорохтин, 1981–1987; Сорохтин, Митрофанов, Сорохтин, 1996).

Очень большой вклад в пропаганду и утверждение новой геологической теории в нашей стране принадлежит академику В.Е. Хаину, который на протяжении многих лет активно поддерживал, обосновывал и развивал идеи тектоники литосферных плит и общие вопросы глобальной тектоники в своих выступлениях на общих собраниях геологов и в своих многочисленных работах. В частности, в его фундаментальной многотомной монографии “Региональная геотектоника” (1971—1985) и в обобщающей монографии “Тектоника континентов и океанов (год 2000)” (2001) многие вопросы тектонического развития земной коры континентов и океанов рассматриваются именно с позиций этой теории. Аналогично этому в монографиях В.Е. Хаина и его коллег А.Н. Божко, Н.В. Короновского и Н.А. Ясаманова, объединяемых общей тематикой “Историческая геотектоника” (1988—1993), с тех же единых позиций тектоники плит описывается эволюция структуры земной коры и дается история формирования всех континентов на Земле, а в монографии – учебнике по геотектонике, написанной В.Е. Хаиным и М.Г. Ломизе (1995), все описание геологических процессов ведется строго с позиций новой теории. Наконец, в большой работе Л.П. Зоненшайна, М.И. Кузьмина и Л.М. Натапова (1990) впервые строго с позиций тектоники литосферных плит подробно рассматривается строение и история формирования земной коры на всей территории России и сопредельных стран.

В конце 80-х годов (теперь уже прошлого столетия) теоретически было показано, что благодаря процессу выделения земного ядра на рубеже архея и протерозоя должен был возникнуть первый в истории Земли суперконтинент, названный нами Моногеей (Сорохтин, Ушаков, 1989). Независимо, но по геологическим данным, к такому же выводу пришли В.Е. Хаин и Н.А. Божко (1988), назвав этот континент Пангеей-0. Несколько позже, было показано, что в истории Земли могло существовать только четыре аналогичных суперконтинента: Моногея, Мегагея, Мезогея и Пангея, образовавшихся соответственно

около 2,6; 1,8; 1,0 и 0,2 млрд лет назад (см. гл. 8). В это же время по геологическим данным были построены и сами палеогеодинамические реконструкции всех трех докембрийских суперконтинентов (Сорохтин, Ушаков, 1993, 1996), тогда как реконструкция вегенеровской Пангеи была построена ранее А. Смитом и Дж. Брайденом еще в 1977 г.

В 90-х годах было показано, что гидратация пород океанической коры океанскими водами должна сопровождаться генерацией абиогенного метана и водорода (Сорохтин, Ушаков, 1991). Приблизительно тогда же и несколько позже этот теоретический вывод также был подтвержден нахождением в составе гидротермальных источников метана и свободного водорода (Дмитриев и др., 2000; Леин, Сагалевиц, 2000). Это явление, очевидно, имеет прямое отношение к проблеме происхождения нефти и природного газа. Именно поэтому в последние годы появилась целая серия работ, посвященных этой проблеме (Баланюк и др., 1995; Дмитриев и др., 2000; Сорохтин, Леин, Баланюк, 2001) в которых показывается исключительно высокая мощность процесса генерации метана в океанической коре и влияние этого процесса на формирование месторождений углеводородов в толщах океанических осадков.

Несмотря на перечисленные успехи новой геологической теории (тектоники литосферных плит), до середины 70-х годов XX в. она фактически описывала только механические перемещения литосферных плит и сопутствующие таким движениям процессы формирования и деформации литосферной оболочки Земли и верхней ее части – земной коры. О механизме, приводящем в движение плиты, было известно только, что он, вероятнее всего, представляет собой конвекцию. Однако природа мантийной конвекции и основные источники, питающие ее энергией, оставались еще неясными, тогда как до настоящего времени господствовала точка зрения, что конвекция в мантии тепловая и вызывается распадом рассеянных в ней радиоактивных элементов.

Решающий вклад в изучение этой важнейшей проблемы геодинамики внесли российские ученые, предложившие и подробно исследовавшие механизм химико-плотностной дифференциации земного вещества в гравитационном поле Земли (Сорохтин, 1971, 1974; Ушаков, 1974; Монин, 1977, 1988; Монин, Сорохтин, 1981–1984; Монин и др., 1987; Лобковский, Котелкин, 2000). Оказалось, что этот процесс приводит к выделению в центральных областях Земли плотного ядра (скорее всего окисно-железного состава) и к возникновению в мантии нестационарной химико-плотностной гравитационной конвекции – непосредственной причины движения литосферных плит и дрейфа континентов. Удалось не только определить время формирования (возраст) земного ядра и среднюю скорость его роста, но оценить скорость конвективного массообмена в мантии, а, следовательно, средний уровень тектонической активности Земли и скорость образования континентальной коры. Этот же подход позволил понять основные закономерности тектонического развития Земли, эволюцию химического состава мантии, определить среднюю скорость ее дегазации, темпы образования гидросферы и атмосферы и влияние таких процессов на развитие жизни на Земле (Сорохтин, Ушаков, 1989, 1991, 1993). При этом выяснилось, что вклад радиоактивной энергии в мантийную конвекцию оказался значительно меньшим, чем это предполагалось ранее, и не превышает 10%.

Решение задачи о гравитационной дифференциации земных недр и численное моделирование нестационарной химико-плотностной конвекции в мантии позволило приступить к количественному изучению геологической эволюции Земли. Полученные результаты значительно расширили первоначальные рамки теории тектоники литосферных плит и фактически превратили ее в наиболее общую геологическую теорию эволюции Земли. В частности, с этих обобщенных позиций в последние годы удалось описать тектоническую активность Земли для всего времени ее геологического развития, проследить историю формирования континентов, океанов, атмосферы и даже построить непротиворечивую модель приливного взаимодействия планет в системе Земля – Луна.

1.4. Методология построения общей теории глобальной эволюции Земли

Оглядываясь на историю развития геологии, можно утверждать, что до появления теории тектоники литосферных плит в науке не существовало общей и строго научной геологической теории, удовлетворяющей всем требованиям, предъявляемым современным научным теориям. До конца 60-х годов геология представляла собой лишь описательную науку. Однако из этого не вытекает, что в геологии не существовало частных теорий, наоборот, они существовали и даже в изобилии, например теория распространения сейсмических волн в слоистых средах, осадочно-миграционная теория нефтегазообразования, теория литогенеза, термодинамическая теория магматической дифференциации и др. Но все они узкой направленности и предназначались для описания лишь отдельных геологических процессов, рассматриваемых в отрыве от остальной геологической обстановки, и никогда не создавали единого мировоззренческого подхода к изучению Земли. При этом отдельные попытки создания общей геологической теории, как показывает история геологии, либо не выдерживали количественной проверки (например, контракционная гипотеза), либо не отвечали элементарным требованиям, предъявляемым к современным научным теориям (например, гипотезы океанизации земной коры, расширяющейся, пульсирующей или гидридной Земли и т.д.). Пользуясь терминологией П. Куна (1975), можно утверждать, что до конца 60-х годов геология еще находилась на допарадигмальном уровне развития науки.

Многие из геологов “классической” школы тогда полагали, что для создания настоящей и всеобъемлющей геологической теории собрано еще мало фактических данных о строении земной коры в различных регионах Земли. Но парадокс “классического” подхода заключался в том, что чем больше собиралось дополнительных данных, детализирующих строение отдельных участков земной поверхности на континентах, тем более запутанной и противоречивой казалась общая картина развития Земли. Говоря словами известного физика начала XIX в. О. Френеля, создавалось впечатление, что природа как бы издевается над нашими аналитическими затруднениями: применяет она лишь простые средства, но их сочетание порождает почти неразрешимую путаницу.

Для расшифровки этой “путаницы” действительно была необходима дополнительная геологическая информация, но не детализирующая до бесконечности строение континентов, а принципиально новая информация о строении и развитии океанического дна. Нужны были также новые и конструктивные идеи, позволяющие по-новому взглянуть на все накопленные прежде геологические данные и знания. Воистину, чтобы увидеть лес, надо было выйти из него и посмотреть со стороны.

Принципиально новые данные, заставившие отказаться от старых представлений о происхождении земной коры и о природе геодинамических процессов в литосферной оболочке Земли, были получены только за последние 40–45 лет благодаря комплексному и широкому изучению геологического строения, состава и динамики дна Мирового океана. Именно эти данные позволили выдвинуть новые идеи о природе глобальных процессов, определяющих развитие земной коры и всей Земли в целом. Созданная на базе этих идей новая геологическая теория (тектоника литосферных плит) привела к глубокому преобразованию классических геологических представлений и, по существу, произвела революцию в науках о Земле. При этом новая теория вовсе не противостояла позитивным геологическим знаниям, собранным за все время существования геологии как науки. Наоборот, она органически впитала их в себя и дала им новое звучание. Значение этой теории для геологии без преувеличений можно сравнить лишь со значением ньютоновской или квантовой механики для физики, молекулярной генетики для биологии и кибернетики для вычислительной техники.

Теперь становится понятным, почему одна из древнейших наук, геология, до середины XX в. не имела собственной общей теории. Объясняется это тем, что “ключ” к познанию процессов геологического развития Земли лежал на дне океана и “поднять” его можно было лишь ценой организации широких океанологических исследований по всем акваториям Мирового океана. Но такие исследования начались только в 50-х годах XX в. во время работ по

программам II Международного геофизического года и другим международным проектам. В этих исследованиях принимали участие многочисленные специалисты из разных стран мира, в том числе и советские океанологи – геофизики и геологи (включая и авторов этой книги), внесшие в них и свой весомый вклад.

С появлением теории тектоники литосферных плит положение в геологии резко изменилось. Можно с полной ответственностью утверждать, что сейчас в геологии уже существует своя строгая теория, полностью соответствующая всем высоким требованиям, предъявляемым к современным научным теориям. Важно также, что эта теория объединила три главных раздела в науках о Земле: собственно геологию, геохимию и геофизику.

Однако тектоника литосферных плит имеет свои ограничения: она описывает процессы только в верхней, жесткой оболочке Земли – в ее литосфере (включая земную кору). Для создания же более общей теории планетарного развития всей Земли в целом (естественно, включающей в себя и тектонику литосферных плит) нужен единый и последовательно физический подход ко всей проблеме в целом. Но для этого, прежде всего, необходимо исходить из следующих общих положений.

1. Земля является физическим телом и развивается по строгим законам физики. Отсюда, в частности, следует, что развитие Земли, согласно первому началу термодинамики, должно происходить под влиянием процессов, в максимальной степени уменьшающих ее потенциальную (внутреннюю) энергию, переходящую в конце концов в тепло. Генерируемое эндогенными процессами тепло, как известно, излучается Землей в космическое пространство, т.е. безвозвратно теряется. Следовательно, развитие Земли необратимо.

2. Движение Земли вокруг Солнца, центра тяжести Галактики и вообще в мировом пространстве происходит по эквипотенциальным поверхностям гравитационного поля, и само по себе такое движение не требует затрат энергии. Передача энергии от внешнего гравитационного поля телу Земли может происходить только в том случае, если это поле переменное, т.е. если возникают приливные силы. В Земле такие силы возникают при ее вращении вокруг собственной оси в градиентных гравитационных полях Луны и Солнца. Однако современная доля приливной энергии, рассеиваемой в земных недрах, в настоящее время не превышает 1% суммарных теплотерь Земли. Отсюда следует важный вывод, что главные источники энергии эндогенного развития Земли, прежде всего, следует искать внутри самой Земли, тогда как развитие ее экосферы, включая климат планеты, процессы выветривания пород и осадкообразование, в большей мере управляются солнечной энергией.

3. Как и любая физическая задача, глобальная эволюция Земли должна описываться уравнениями математической физики, решение которых возможно находить, только задавшись начальными и краевыми условиями задачи. В качестве начального условия необходимо принять время образования, строение и состав первичной Земли, а в качестве краевых (граничных) условий – строение и послыйный состав современной Земли и всю ее геологическую летопись.

4. Землю с ее геосферами (ядром, мантией, корой, гидросферой, атмосферой и биосферой) следует рассматривать как единую, физически взаимодействующую динамическую систему, объединенную внутренними связями. Очевидно, по этой причине механические перемещения в Земле нельзя отрывать от развивающихся в ее недрах физико-химических процессов, приводящих к изменениям состава, плотности и объема вещества, при этом надо также учитывать, что механические деформации сами приводят к разогреву и даже плавлению вещества. Это требует рассмотрения развития всех геологических процессов, в том числе и тектонической активности Земли, в пространстве и времени.

5. Скорость развития большинства эндогенных процессов в Земле сдерживается высокой диффузионной вязкостью земного вещества, поэтому многие из таких процессов развиваются исключительно медленно (в течение многих миллионов и даже миллиардов лет). Все это требует рассмотрения взаимодействия разномасштабных геологических процессов, в том числе и тектонической активности Земли, в категориях пространства и времени. Поэтому при изучении проявлений геолого-тектонических процессов в прошлые геологические эпохи

полезно использовать все возможности актуалистического подхода в исторической геологии. При таком подходе, правда, необходимо вносить соответствующие эволюционные поправки за необратимость процессов тектонического развития и химической дифференциации Земли и ее отдельных геосфер.

Отмеченный энергетический подход к изучению глобальной эволюции Земли в сочетании с его привязкой к конкретной геологической летописи (т.е. к краевым условиям для нашей планеты) позволяет выделить и ранжировать по мощности главные планетарные процессы, управляющие эволюцией Земли. После изучения каждого из таких определяющих процессов можно оценить и их суммарное воздействие на тектоническую активность Земли и на отдельные проявления этой активности. В свою очередь, лишь всесторонний и комплексный подход к изучению отдельных геологических явлений и процессов как к частным формам проявления наиболее общего и глобального процесса развития всей Земли в целом позволяет, например, объяснить происхождение и развитие океанов и атмосферы на Земле, выявить основные закономерности роста континентов, выяснить причины возникновения уникальной металлогенической эпохи раннего протерозоя или природу эволюционных изменений металлогении континентов и т.д. Особенно показательна в этом отношении проблема происхождения докембрийских железорудных формаций. Для ее разрешения необходимо рассматривать самые фундаментальные и разноплановые проблемы происхождения и глобальной эволюции Земли, включая химическую дифференциацию вещества в протопланетном газопылевом облаке, из которого образовалась Земля, состав земного ядра и природу механизмов его выделения из мантии, эволюцию химического состава мантии и конвективный массообмен в ней, дегазацию Земли и условия формирования океанов и атмосферы на ее поверхности, условия развития жизни на Земле, продуктивность биосферы докембрия и т.д.

Разрешить все эти слившиеся воедино проблемы позволила разработанная российскими учеными наиболее общая геологическая теория глобальной эволюции Земли. Возникла эта теория, как уже отмечалось, за счет органического слияния и дальнейшего совместного развития тектоники литосферных плит, современной космогонической концепции о происхождении Земли и гидродинамической теории, описывающей конвективный массообмен в мантии. Описанию этой общей геологической теории и посвящена данная книга.