

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра геологии

В.Н. Судариков, О.Н. Калинина

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ МИРОВОГО ОКЕАНА»

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических рекомендаций для студентов, обучающихся по программам высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология

Оренбург
2015

УДК 551.35:551.46(076.5)
ББК 26.38я7
С 89

Рецензент – доцент, кандидат географических наук Р.Ш. Ахметов

Судариков, В.Н.

С 89 Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине «Геология и минеральные ресурсы Мирового Океана» / В.Н. Судариков, О.Н. Калинина; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2015–60 с.

В данных методических рекомендациях представлены шесть ключевых тем. На примере Красного моря показаны последовательные стадии развития рифтовых зон от континентального рифта на востоке Африки до океанического в Красном море. Палеорекострукция древнего океана, существовавшего на Южном Урале в палеозойское время, рассматривается на основе работ Л.П. Зоненшайна. В теме о внутриплитовом вулканизме описан его механизм, приведший к образованию цепочек вулканических островов. Приведенная разносторонняя характеристика Охотского моря описывает типичный пример котловинных морей с корой переходного типа, ограниченного с востока островной дугой. Тема «Шельф» рассматривает физико-химические процессы переработки поступившего с суши материала и дальнейшей его транспортировки в глубины моря. Тема нефтегазоносности подводных недр знакомит с закономерностями формирования залежей углеводородов в активных и пассивных окраинах океанов, в том числе и на шельфе северных Российских морей.

Методические рекомендации предназначены для студентов, обучающихся в университете по специальности 21.05.02 Прикладная геология.

УДК 551.35:551.46(076.5)
ББК26.38я7

© Судариков, В.Н., Калинина, О.Н., 2015
© ОГУ, 2015

Содержание

Введение	4
1 Эволюция развития рифтов и характеристика Красного моря	5
2 Океан на Южном Урале	15
3 «Горячие пятна» Земли	25
4 Характеристика Охотского моря и его отложения	38
5 Шельф	46
6 Краткая характеристика нефтегазоносности подводных недр	51
7 Литература, рекомендуемая для изучения дисциплины	58

Введение

В представленных методических рекомендациях более подробно изложены тектонические процессы и осадкообразование, происходящие на ключевых объектах в Мировом океане. Поскольку процессы, описанные на ключевых объектах типичны для Мирового океана, изучение их будет способствовать более глубокому восприятию студентами всего материала по геологии Мирового океана.

Для составления представленных в данных рекомендациях тем в ряде случаев были использованы статьи, взятые из научно-популярных журналов «Знание – сила» и «Наука и жизнь» семидесятых и восьмидесятых годов прошлого столетия, таких известных авторов как Л. Зоненшайн, Е. Цветков, А. Городницкий, С. Ушаков, В. Баландин, А. Лисицин, А. Монин и других. В этих журналах упомянутые авторы излагали материал научных исследований в яркой художественной форме, доступной неискушенному читателю и способствующей его лучшему пониманию. Студентам данная форма изложения материала позволяет лучше понять и усвоить учебный материал.

Цель методических рекомендаций в расширении объема информации по дисциплине «Геология и минеральные ресурсы Мирового океана».

1 Эволюция развития рифтов и характеристика Красного моря

Теоретически известно, что 200 млн. лет назад континенты составляли единый материк Пангею. Затем Пангея раскололась, части ее разошлись в стороны и дали начало Индийскому и Атлантическому океанам. Как это было – трудно восстановить точную картину. Однако, выяснилось, что и сейчас есть на земной поверхности участки, где происходит раскол континентов. Это те места, где мировая система срединно-океанических хребтов выходит из океана на сушу.

На Земле обнаружены рифтогенные зоны, проходящие разные стадии развития, и по ним удастся восстановить картину эволюции рифтов. Такое «удачное» место – стык Африки и Аравии – здесь сочленение трех рифтовых структур: эфиопской, Красного моря и аденской. Эфиопский рифт, здесь земная кора ещё имеет гранитный слой. По мере развития рифта кора, под действием растягивающих сил, становится тоньше, разрывается, гранитный слой разрушается (таково состояние Афара). Затем рождается молодая базальтовая океаническая кора (Красное море), плиты раздвигаются, базальты заполняют расщелины, океан становится шире. Таков Аденский залив – возраст его коры 9 миллионов лет. Так обосновывается эволюционный ряд развития рифтов от континентов к океану.

Рифты восточной Африки и Красного моря представляют собой последовательные стадии раскола континента. Эфиопский рифт – это первичная трещина, расколовшая континент; Красное море и провинция Афар — это следующие стадии развития этой первичной трещины.

В геологическом масштабе времени относительно недавно на месте Красного моря существовал обширный пресноводный глубоководный бассейн, сопоставимый по площади, а то и в несколько раз превосходящий Байкал.

Две соседние литосферные плиты Африканская и Аравийская, сопряженные по зоне Красноморского рифта, начали медленно, со скоростью один-два сантиметра в год, удаляться друг от друга. Из-за этого расширения и площадь озерного бассейна увеличивалась, так как все новые участки суши уходили под воду. И вот однажды на месте нынешнего Баб-эль-Мандебского пролива последний

участок суши, отделяющий палеоозеро от Индийского океана, ушел под воду. Океан через Аденский залив хлынул в палеоозеро.

Было это около девяти миллионов лет назад. Произошло смешение океанических и озерных вод и довольно быстрое осолонение последних. Это вызвало массовую гибель пресноводной озерной фауны и замену ее морской.

Образовавшееся Красное море протянулось с северо-запада на юго-восток на 1932 км при максимальной ширине 352 км. Площадь моря 460 тыс. кв. км, объем воды 201 тысяча кубических километров, а средняя глубина 440 м (максимальная – 3039 м).

Красное море самое соленое море Мирового океана, в 1 литре воды здесь содержится 41 г солей (в открытом океане 34 г, в Черном море 18, в Балтийском всего 5 грамм солей на литр воды). За год над морем выпадает не более 100 мм атмосферных осадков, тогда как испаряется за то же время в 20 раз больше – 2000 мм. (Это значит, что каждый день с поверхности моря испаряется больше полусантиметра воды). При полном отсутствии поступления воды с суши этот дефицит воды в море компенсируется лишь поступлением воды из Аденского залива. В Баб-эль-Мандебском проливе одновременно существуют течения входящие в Красное море и выходящие из него. Для полного обмена воды в Красном море требуется всего 15 лет.

С целью изучения ложа Красного моря советскими учеными были организованы экспедиции.

При изучении рифта Красного моря перед экспедицией стоял главный вопрос – к чему он ближе к океаническому типу или континентальному типу рифтов, к которому относится Байкальский рифт? Кроме того, в Красном море еще раньше были открыты глубокие двухкилометровые впадины с горячими рассолами. В них идут отложения металлоносных осадков, богатых железом, марганцем, медью, цинком. По сути дела, здесь идет современный процесс металлообразования, проследить который очень важно.

Обнаружение впадин с горячими рассолами в Красном море было настоящим научным открытием шестидесятых годов двадцатого века.

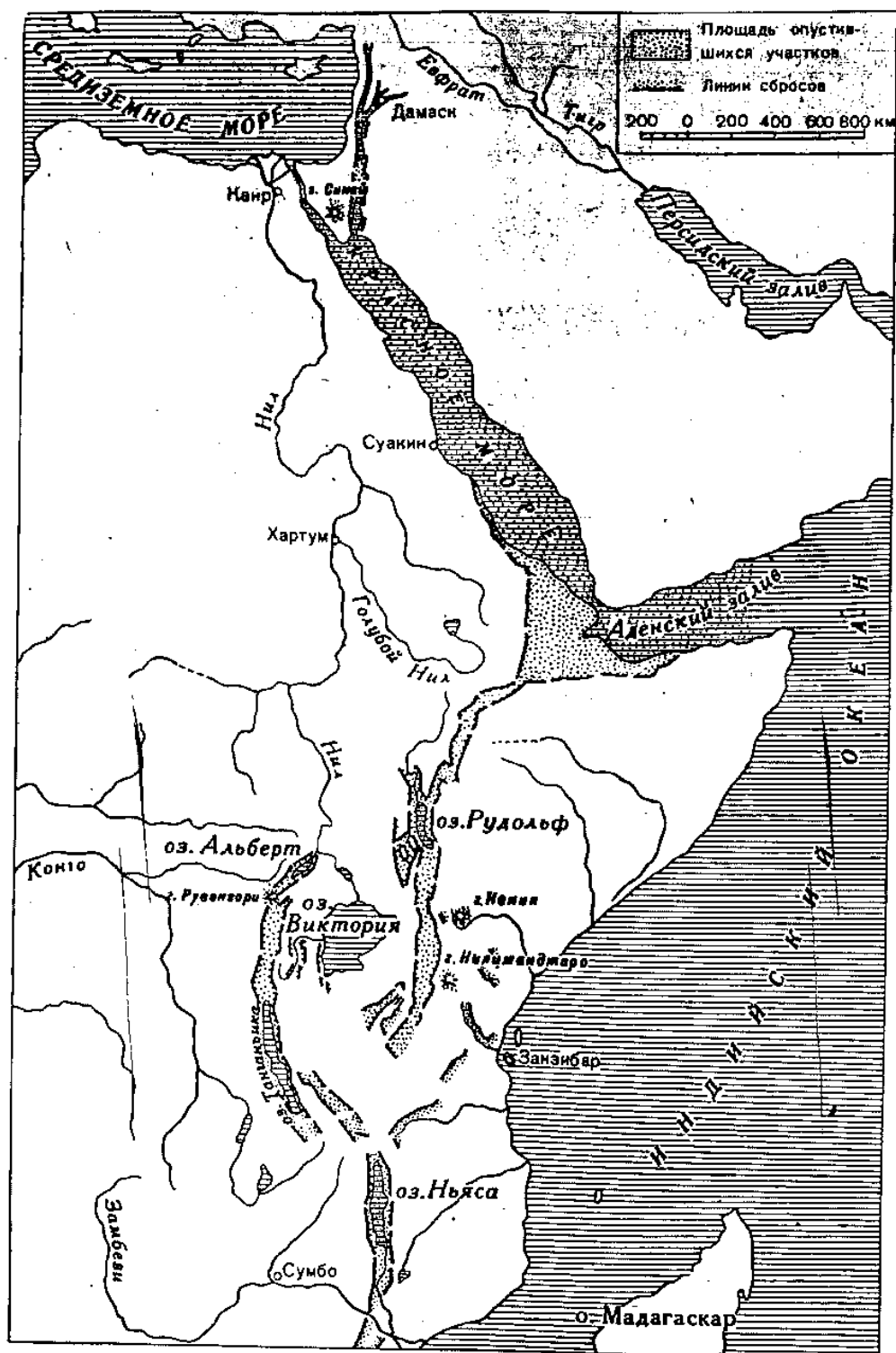


Рисунок 1 – Область великих Африканских разломов (по М.В. Муратову)

К настоящему времени в самых глубоких районах обнаружено более 20 таких впадин. Температура рассола находится в пределах $30-60^{\circ}$ и повышается на $0,3-0,7^{\circ}$ в год. Это значит, что впадины подгреваются снизу внутренним теплом Земли. Наблюдатели, погружавшиеся во впадины на подводных аппаратах, рассказали, что

рассолы не сливаются с окружающей водой, а четко отличаются от нее и выглядят как илистый грунт, покрытый рябью, или как клубящийся туман. Химические анализы показали, что содержание в рассолах многих металлов, в том числе и драгоценных, в сотни и тысячи раз выше, чем в обычной морской воде.

Исследования проходили в центре южной части Красного моря, где типичные участки рифта имели глубину около 2 км. Для этого опускались на аппарате «Пайсис».

Следуя по поперечному сечению Красного моря, отмечается: дно огромными ступенями спускается от краев рифта к его центру – верхние ступени — глубина 500-600 м, средние — глубина 1 200-1 500 м, осевая часть опущена до глубины 1 800-2 000 м; ступени разделены голыми лишенными осадков отвесными стенками. В самом центре Красного моря — узкая, шириной 4-5 км, полоса подводных гор высотой 200-300 м, редко выше. Эти горы сложены молодыми базальтовыми лавами.

Внутри этого неширокого пояса гор проходит узкая километровая полоса самых молодых вулканических построек. На них совсем нет морских осадков. Лавы, на которых нет осадков, очень молоды, возраст их не превышает 1 000 лет. Значит во времена фараонов рельеф дна Красного моря был совсем иным.

Выходы лав и крутые стенки тектонических ступеней покрыты достаточно толстым известковым слоем. Их нет в узкой зоне, которая проходит по середине хребта. Была высказана по этому поводу гипотеза, что в ледниковое время около 10 000 лет назад уровень Мирового океана был ниже, чем сейчас, на несколько сот метров. Концентрация солей была резко повышена и шло отложение карбонатов на дне. Значит возраст известняков вероятно 10 000 лет.

В целом скорость осадконакопления в Красном море велика — 5-10 см в тысячу лет. Ведь Красное море теплое, богатое планктоном; на дне непрерывно накапливаются остатки отмерших морских организмов. Когда спускаешься на аппарате, глядя в иллюминатор, поражаешься — это сплошной «снег». Миллиарды планктонных частиц, мелких рачков, инфузорий, ракушек проносятся перед глазами. Значит, там, где нет этих осадков, лавы очень молоды. На одной из

вулканических гор высотой 300 м, расположенной в рифтовой зоне, на вершине ее видно жерло диаметром 3 м, недавно вытекала лава. Вокруг вершины наблюдаются причудливые пустотелые корки базальтов. Откуда такие формы? Раскаленная лава с температурой 1 200 °С попадает в холодную воду на дне моря. Мгновенно происходит ее закалка поверхности, лава покрывается твердой стекловидной коркой. Возникают так называемые лавовые подушки, из которых лава, найдя себе отверстие, вытекала и растекалась амебообразными лужицами по склонам, а «скорлупки остаются». Здесь много трещин, которые раздвигают основание. Глубина их достигает 100 м. Эти трещины называются «гьяры». Это свидетельство, что земная кора здесь растягивается и происходит это только в рифтовой зоне. Здесь происходит рождение новой коры в результате раздвижения земных блоков.

Условия растяжения свойственны только этой 4-5 километровой осевой зоне. Обстановка всего лишь в 2 км от рифта резко меняется. Здесь видно, как вздымаются крутые пятикилометровые стенки-уступы. Это уже следы тектонических сбросов.

Доктор физико-математических наук О.Г. Сорохтин предложил следующую модель происходящему процессу. По мере раздвижения литосферных плит в расщелину между ними поступает базальтовое вещество из размягченного астеносферного слоя Земли. Внедряясь в образовавшуюся щель это вещество заставляет воздыматься ее края. Но поскольку скорость этого раздвижения мала (в Красное море эта скорость за последние 3 млн. лет составляла 1,5 см в год), то обильного притока веществ из мантии не может быть. Поэтому базальтовый вулканизм прекращается, а раздвижение плит продолжается. Возникает неустойчивость - края плит обламываются и опускаются в виде оползней вниз. И так до тех пор, пока не начнется новый период вулканизма. Эта модель пульсирующего механизма образования рифтовой зоны оказалась применимой и к другим рифтовым зонам.

Вопрос о принадлежности рифтовой зоны в Красном море к континентальному или океаническому типу решен. Установлено, что в пределах

рифта Красного моря нет никаких остатков континентальной коры. Породы — это типичные океанические — базальты-толеиты.

В Красном море также обнаружены полосовые магнитные аномалии. По своей форме Красноморский рифт почти ничем не отличается от срединно-океанических рифтов, хотя он начал образовываться примерно 5 млн. лет назад. Этот рифт океанический. Но есть отличия его от океанических рифтов, в нем еще нет хребта, он еще не успел образоваться. В северной части Красного моря до сих пор нет единой рифтовой щели. Там только впадины с горячими рассолами.

Эфиопский рифт по своей форме близок к океаническим рифтам, но подстилается он континентальной корой. Вместо базальтов здесь изливаются риолиты. Базальтов мало и встречены они только в осевых зонах.

Есть там и «гьяры» — огромные трещины, совсем ещё молодые — им около 150 лет. На суше их меньше, чем на морском дне. На севере страны он расширяется и переходит в Красное море. Здесь в геологической провинции Афар, сочленяются три рифта: Эфиопский — с юга, Красноморский — с севера и рифт Аденского залива — с востока. Провинция Афар — переходная зона от континентального к океаническому рифту. Очень много здесь впадин, грабенов, глубиной до 400 м с отвесными стенками.

Обширная вулканическая область Афар, оконтуренная серией разломов, имеющая вид треугольника, заполненного лавовыми полями и толщами молодых эффузивов четвертичного возраста. К югу от Афара простирается Эфиопский рифт — самое северное звено обширной и сложно построенной системы Восточноафриканских рифтов. С этой системой связан современный и четвертичный вулканизм Восточной Африки, к ней относятся глубочайшие рифтовые озера Танганьика, Ньяса, Рудольф, Альберт (рисунок 1).

Если процесс будет продолжаться, то примерно через 50 млн. лет здесь будет океанический бассейн. Африканский рог отойдет на восток и возникнет новый остров. Так образовался остров Мадагаскар. Если процесс затихнет, то образование океана замедлится.

Красное море соединяется с Аденским заливом узким (всего 26 км) Баб-Эль-Мандебским проливом — «Ворота скорби» по-арабски.

Дно залива отличается высокой степенью сейсмичности. Особенно много эпицентров землетрясений приходится на рифтовые долины и их поперечные разломы. Все очаги землетрясений находятся на глубине не более 60 км. Выяснено, что на глубине 3-4 км залегает кровля «базальтового слоя», который на глубине 8-10 км подстилается поверхностью Мохоровичича.

Африка и Аравия разделились всего 20 млн. лет назад. Красное море — океан-эмбрион, мы присутствуем при волнующем моменте его рождения.

В северной части Красного моря рифтовая зона вновь разветвляется, образуя короткий (до 300 км) Суэцкий рифт, соответствующий одноименному заливу, и рифт залива Акаба, который продолжается на север в виде грабена *Мертвого моря* и Левантийских рифтов.

Мертвое море — это пример рифтовых впадин, выходящих на сушу. Современные рифты — молодые образования и им сопутствуют частые землетрясения. Катастрофа в результате подобного землетрясения произошла около 1900 г. до нашей эры. Города Садом и Гоморра были поглощены землей и сейчас они находятся в пучине Мертвого моря. Подобная катастрофа произошла в декабре 1861 г. в устье впадающей в озеро Байкал с востока реки Селенга. Здесь степь с бурятскими улусами и лугами исчезла под водой озера в результате землетрясения и провала. Здесь также как и на периферии Мертвого моря наблюдались выходы нефти и газа (аргумент в пользу сторонников теории неорганического мантийного происхождения нефти).

Ярким примером континентальных рифтовых впадин является озеро Байкал. Его длина 636 км при характерной малой ширине (приблизительно 25-48 км), глубина — 1 700 м. В геологических структурах Байкальская впадина продолжается за пределами озера на 2 500 км. Байкал узкий и глубокий разрез в литосфере, заполненный чистой водой, и возможно, является зарождающимся океаном. Здесь отмечается повышенная интенсивность геотермического потока и

медленное поднятие территории. Возможно, в этом месте воздымается горячая астеносфера.

Современные рифтовые зоны континентов имеют много общего с рифтами срединно-океанических хребтов. Их возникновение также связано с процессами подъема глубинного вещества, сводового поднятия, горизонтального растяжения земной коры под его напором, утонением коры и подъемом поверхности Мохоровичича. Континентальные рифтовые системы (КСР) также образуют ветвящиеся в плане протяженные системы, но гораздо менее выраженные в рельефе, поэтому некоторые их звенья кажутся изолированными.

На первый взгляд трудно назвать аналогом Байкала рифтовое ущелье, погребенное под толщей воды в 3-3,5 километра. Но происхождение Байкальской и океанических рифтовых зон одинаково по своей сути.

В пределах Байкальской рифтовой зоны, кроме самого Байкала, существует ряд крупных сухопутных впадин, выполненных четвертичными озерно-речными отложениями. В их числе Тункинская, Баргузинская, Нижне- и Верхне-Ангарские, Муйская, Чарская. Оказывается значительный отрезок Байкало-Амурской магистрали проложен по дну бывших крупных озер – древних аналогов Байкала. А существовали эти озера относительно недавно – несколько десятков тысяч лет назад.

Родным «братом» Байкала называют расположенное в Монголии озеро Хубсугул, вытянутое в виде серпа на 130 километров. Максимальная его глубина достигает 238 метров. Хубсугульская и Байкальская впадины входят в Байкальскую рифтовую зону. В Хубсугул, как и в Байкал, впадает много (около 70) рек, а вытекает тоже единственная – Эгингол.

Кстати, Хубсугул через реки Эгингол и Селенгу связан с Байкалом. Хубсугул в 12 раз по площади, почти в 5 раз по длине и в 7 раз по глубине меньше Байкала.

Обычно ширина континентальных рифтов составляет около 45-50 км, при вертикальной амплитуде погружения фундамента рифта (грабена) от 1 до 7 км. Обычно опускание дна рифтовых прогибов в значительной степени компенсировано процессами осадконакопления, однако значительная их часть представлена

депрессиями, занятыми водами морей, озер и долинами рек. Большинство КСР имеют кайнозойский возраст образования. По последним данным впадина шириной 10 км на дне Байкала образовалась 10 млн. лет назад. В поперечном сечении рифтовая зона представляет собой систему ступенчато погружающихся к осевой части скошенных под различными углами блоков. Поверхности раздела обычно являются крутопадающими сбросами. Скорость раскрытия Байкала не превышает 1 мм в год.

Байкал по геологическим масштабам «юноша». Кора здесь типично континентальная. Здесь происходят землетрясения, достигающие десяти-одиннадцати баллов.

Земная кора континентальных рифтов характеризуется заметным утонением до 20-30 км, подъемом поверхности Мохоровичича и увеличением мощности осадочного слоя, поэтому в разрезе земная кора имеет форму двояко-выгнутой линзы. Методами глубинного сейсмического зондирования было установлено наличие под Рейнским, Байкальским и Кенийским рифтами разуплотненных пород мантии. Континентальные рифты также выделяет наличие повышенного теплового потока и отрицательных аномалий магнитного поля. Характер смещений в очагах землетрясений свидетельствует о горизонтальном растяжении земной коры. Для Рейнского грабена это составляет около 5 км, для Байкальского же – на порядок выше. Наиболее существенным различием между современными океанскими зонами рифтов (ОЗР) и континентальными зонами рифтов (КЗР) при наличии многих черт сходства между ними является то, что относительно более толстая и прочная континентальная кора, хотя и утоняется при растяжке (и кое-где разрывается), давая выход базальтовому вулканизму, все же сохраняет свою целостность. В отличие от разверзающихся недр ОЗР, из которых на поверхность твердой коры поступают породы верхних слоев мантии, или, по крайней мере, расплавленная смесь этих пород с породами разрушений и ассимилированной старой коры, в КЗР не происходит новообразований земной коры. Быть может, это означает, что современные КЗР есть лишь первая стадия образования мировой системы рифтов и что в эпоху рождения, например, Атлантического океана дело

также начиналось с образования в теле Лавразии звеньев КЗР, подобных на более ранней стадии Байкальской зоне, а затем (на последующей временной стадии) Восточно-Африканскому рифту. Таким образом, с некоторой оговоркой Байкал можно назвать зародышем будущего океана.

Еще пример: Калифорнийский залив Тихогоокеана врезается в территорию Северной Америки на 1 240 км и продолжается на суше грандиозной системой разломов Сан-Андрис. Калифорния обречена стать островом. Смещение Тихоокеанской и Атлантической плит идет по разломам Сан-Андреас со скоростью 1,5 см/год и сопровождается частыми сильными подземными толчками

Калифорнийский залив представляет собой самую молодую стадию зарождения океанического рифта, знаменующую собой раскол Северно-Американского континента, начавшийся 5 млн. лет тому назад. За это время новообразованный рифт раскрывался со скоростью 6 см/год, в результате чего он и достиг ширины около 300 км.

Калифорнийский рифт обладает крутыми стенками, образовавшимися в результате разломов-сбросов, а самые молодые разломы возникли всего лишь 50-100 тыс. лет назад. Гидротермальное поле, приурочено к осевой, наиболее трещиноватой части дна рифта и состоит из многочисленных конусовидных построек высотой от первых метров до 50-70 м и диаметром в основании до первых сотен метров, но чаще всего в 20-30 м. Узкий грабен Калифорнийского залива рассматривается как крупная рифтовая долина или рифтовая зона.

Контрольные вопросы

1. Характеристика Красного моря.
2. Характеристика Байкальской рифтовой системы.
3. Характеристика Калифорнийской рифтовой системы.
4. Примеры последовательности стадий развития рифтовых зон.

2 Океан на Южном Урале

Установлены в платформенной части Оренбургской области верхнепротерозойские, палеозойские и мезозойские осадочные образования. Подстилают их метаморфические и магматические породы кристаллического фундамента архейско-раннепротерозойского возраста.

Со стороны Уральского прогиба и Прикаспийской синеклизы море неоднократно наступало, а затем отступало. Отмечены прибрежные и мелководно-морские рифейско-вендские терригенные осадки.

В прибрежно-морских условиях (от нуля до нескольких метров) накапливалось большинство терригенных осадков – это песчано-алевритово-глинистые породы, плохо отсортированные. Установлены также глубоководные депрессионные батинальные макрофагии.

Подавляющая часть палеозойских отложений образовалась в мелководной зоне открытого шельфа (глубина до 70-100 м) с нормальной соленостью вод, где шло накопления илов с богатым комплексом фауны: брахиопод, остракод, кораллов, строматопор, мшанок, криноидей. Временами сюда сносился терригенный материал. На глубинах 100-500 м отлагались почти черные тонкослоистые глинисто-карбонатные породы, часто битуминозные и окремнелые.

Наиболее глубоководные депрессионные условия осадконакопления существовали, по-видимому, в поздне-каменноугольное и раннепермское время в районе Предуральского прогиба и Прикаспийской синеклизе (глубины от 500 до 2 000-3 000 м). Здесь отлагались также глинисто-карбонатные породы, битуминозные и окремнелые с фауной преимущественно планктонных форм: фораминиферы, радиолярии, фрагменты кремневых губок.

Предуральский краевой прогиб в геотектоническом плане является крупнейшей переходной структурой вдоль складчатых сооружений Урала, простирается более чем на 2 000 км при ширине 40-105 км. В южной части прогиба на территории области выделяется Бельская впадина, вытянутая в меридиональном направлении более чем на 300 км. Этому простиранию также подчиняются

простираются все структурно-тектонические элементы и фациальные зоны прогиба, среди которых выделяются:

1. Западный борт, представленный зоной рифовых массивов.
2. Осевая (депресссионная) наиболее прогнутая зона.
3. Восточный борт, представленный зоной антиклинальных складок.

Западный борт сложен породами типично рифогенного облика.

В осевой части выделены глубоководные карбонатно-глинистые породы.

В зоне внутреннего восточного борта выделены породы серо-цветной молассы и флиша.

Подстилающие каменноугольные образования в центральной зоне прогиба представлены платформенными, шельфовыми особенностями их состава.

Сочленения прогиба с передовыми складками Урала происходит по крупному тектоническому нарушению надвигового типа.

Начиная с триасового периода и далее в раннеюрскую эпоху окончательно завершился герцинский тектогенез.

Магматическая деятельность перидотитового типа на Урале сосредотачивалась в зонах глубинных разломов, которые развивались от нижнего палеозоя (и ранее) до верхнего. Таким образом, было определено 6 групп по возрасту ультраосновных пород (офиолитов) от нижнего кембрия до нижнего отдела каменноугольного периода. Эти факты свидетельствуют о былом присутствии здесь древнего океана.

Граниты образуют ряд поясов, и также обнаруживают большой разброс по абсолютному возрасту. Распространены они среди тектонических поднятий Урала. Они могут быть образованы также за счет переплавки осадков с образованием «гранитного» слоя в развитых островодужных структурах.

Образованию океана предшествует раскол литосферы, который происходит в результате прожигания её приподнятым гребнем астеносферы.

Зона раскола называется рифтом. Расколовшиеся части плит расходятся в результате спрединга. В рифтовой зоне происходит излияние лав базальтов, являющихся базовыми породами океанической коры. В результате дальнейшего

спрединга литосферных плит на месте раскола образуется сначала узкое море, которое со временем перерастает в океан.

Известно, что офиолиты фиксируют зоны столкновения плит. Они приурочены к Уральскому, Аппалачско-Каледонскому горным поясам и другим, и представляют собой следы исчезнувших океанов. Предполагается, что на Урале сначала происходил раздвиг литосферных плит – расширение океана, а затем этот процесс сменился на сокращение водного бассейна. Впоследствии, океан исчез при столкновении континентов; остались офиолитовые пояса (рисунок 2).

В восьмидесятых годах прошлого века наиболее полно исследовал этот сложный процесс и воспроизводил картины прошлого советский ученый Зоненшайн Л.П.

На Урале сохранились отдельные фрагменты картины, которая наблюдается сейчас на дне Красного моря или в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта. Известно, что океанская кора состоит из 3 слоев. Верхний слой представлен глубоководными осадками небольшой мощности, средний – состоит из нагромождения лав и ниже них отмечены массивные базальты-долериты, третий – нижний слой – это крупнокристаллические породы, сформировавшиеся в глубинных условиях.

На Урале на поверхности обнажаются потоки подушечных лав, а под ними – массивные базальты (долериты), слагающие дайковые серии. Дайки – это пластинообразные тела базальтов, которые не вышли на поверхность и внедрились в другие породы. На Урале они часто образуют вертикальные пластины толщиной в среднем 1 м. Это трещины – каналы, по которым поступала лава. Это свидетельствует о том, что здесь существовали условия растяжения. Возраст этих базальтов 450-400 млн. лет (силур). Были также определены вулканические центры.

На Урале в силуре происходило раздвижение плит с небольшой скоростью 1-2 см в год. Лавы перекрыты глубоководными океаническими осадками с радиоляриями, а они существуют на глубине 3-4 км. Он невелик по мощности и часто прорезан слоями базальтов. Базальтовые лавы внедрялись в осадочные слои, сминая их в сложные складки. Ширина океана могла достигать 2-3 тыс. км.

В этот период глубоководных излияний объем обломочных пород резко сокращен; преобладают хемогенные кремнистые породы яшмовидной и кремнисто-сланцевой формаций. Источник его поступления – это в основном активный подводный вулканизм базальтового (силур) и базальтового до трахеандезитового (эйфель) состава. Кремнистые породы при этом образовывали прослой и пачки между потоками эффузивов и пластами туфов.

Значительные массы кремнистого материала привносились при извержениях дацито-андезитового состава (живет) и осаждались между отложениями туфов и обломочными осадочными породами в перерывах их седиментации. Эти комплексы пород характерны для вулканических островных дуг 400-380 млн. лет назад. В морском бассейне между островной дугой и Восточно-Европейской платформой преобладал подводный характер вулканизма и подчиненную роль играл наземный, а также определялось значительное участие осадочных пород на всех этапах развития и завершения существования океана. Характер осадков свидетельствует о господстве мелководных условий извержений и осадкообразования.

Восточно-Европейская платформа имеет на своем краю, прилегающему к Уралу, чехол мелководных шельфовых осадков, сложенных известняками, в том числе и рифовыми. Островная дуга и континент окончательно сблизилась. Скорость сближения была 2,5 см в год. В конце девона (350 млн. лет назад) край Восточно-Европейского континента подошел к островной дуге, и край континента оказался подвинутым под вулканическую гряду. Поскольку континентальная кора легкая, она не может долго уходить в мантию. Движение литосферных плит продолжалось. Возникла новая зона поглощения с востока, поскольку началось сближение дуги с другим континентом - Казахстанским.

В конце палеозоя 270-290 млн. лет назад восточный континент столкнулся с западным. В результате, столкновение привело к возникновению складчатости Урала. Погруженная под островную дугу континентальная кора начала плавиться; отдельные ее участки при плавлении стали подниматься вверх. Движущийся фронт вещества, энергия, тепло вызвали изменения в приповерхностных слоях. Переплавленный фундамент при подъеме поднимал океанические и островодужные

образования, которые начали сползать в стороны. Они и образовали внешние покровы Урала.

Пример зарождения и исчезновения океана на Урале может быть типичным и для других ныне исчезнувших океанов, судя по присутствию офиолитов на других материках. Здесь напрашивается вопрос: могли ли сохраниться места или реликты древних рифтовых зон?

На основании геологических исследований морей, омывающих северное побережье России, были выявлены рифтогенные грабены разных по возрасту - от докембрия до кайнозоя. Они содержали осадки большой мощности (10-20 км). В этих рифтовых зонах на дне ощущался тепловой поток, идущий с больших глубин. Описанные условия являются благоприятными для образования месторождений углеводородов.

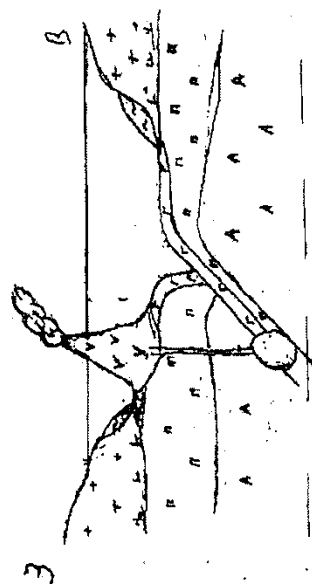
Панкратьев П.В. предполагает, что рифтовой зоной для Уральского Океана являлась осевая зона Магнитогорского синклинория, простирающаяся в меридиональном направлении и вмещающая осадочные породы большой мощности – приблизительно 6 км (рисунки 2, 3).

Эта рифтовая зона сопровождается разломами, ориентированными также в меридиональном направлении, а на космических снимках просматриваются в виде темной полосы более широкой в южном направлении, расположенной параллельно хребту Ирландия.

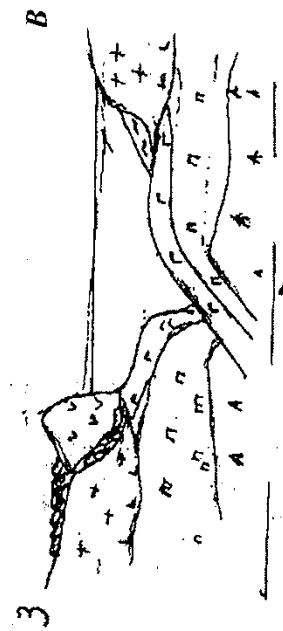
На востоке Оренбургской области в Зауральском поднятии находится четко выраженная полоса основных и ультраосновных пород, контрастно проявленных на магнитной карте. Полоса эта ориентирована в субмеридианальном направлении и сопровождается разломами; ширина её на юге области приблизительно 5 км, на севере – 1 км. Её можно рассматривать как реликт небольшой рифтовой зоны местного значения с глубоким уровнем эрозионного среза. В окрестностях распространены породы ложа океана: базальты, серпентинины, турбидиты, кремнистые породы (рисунок 5).



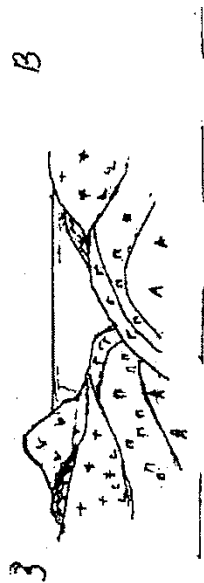
а) Палеозойский океан 440-400 миллионов лет назад (силур)



б) Начало закрытия океана (в западной половине), образование Уральской островной дуги 400-350 миллионов лет назад (девон)



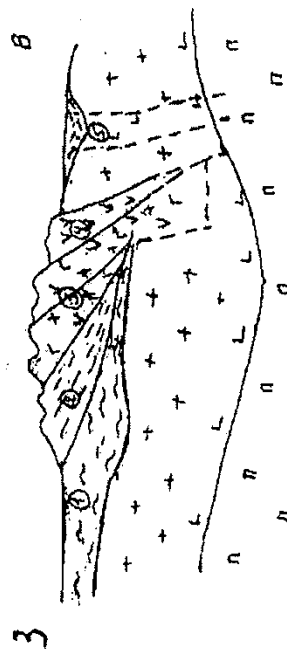
в) Островная дуга начала надвигаться на Русскую платформу 350-325 миллионов лет назад (ранний карбон)



г) Надвиг островной дуги на Русскую платформу 325-290 миллионов лет назад (карбон)



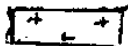
д) Начало закрытия восточной половины Палеоуральского океана 290-280 миллионов лет назад (ранняя пермь)

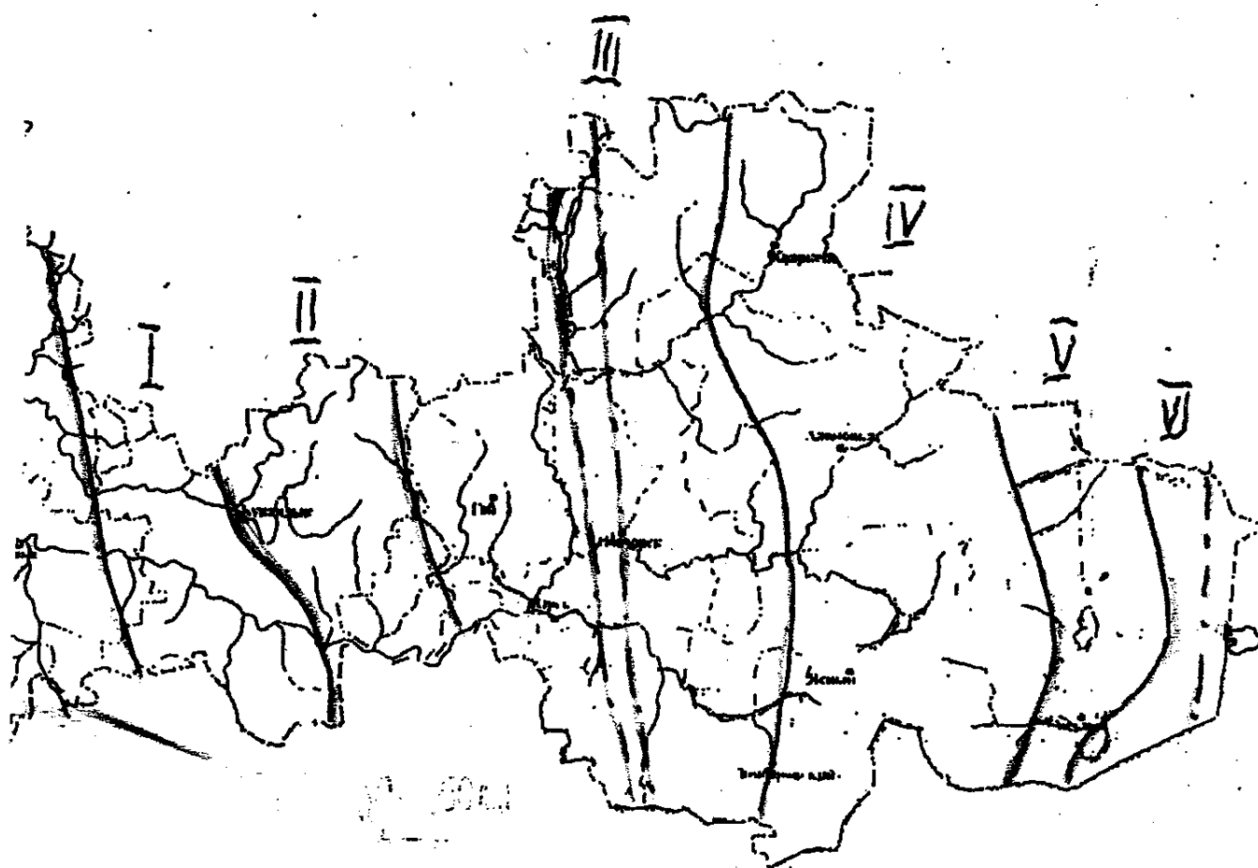


е) Образование Уральского горного пояса 280-230 миллионов лет назад (пермь-ранний триас)

Рисунок 2 – Этапы исчезновения океана на Урале (условные обозначения на странице 21)

Условные обозначения к рисунку 2

	Осадки Предуральяского прогиба
	Западно-Уральская внешняя зона складчатости
	Уральский горный пояс
	Гайская площадь
	Осевая зона Магнитогорского прогиба
	Разломы
	Разломы предполагаемые
	Материковая кора
	Литосфера
	Астеносфера
	Вулкан островной дуги и его камера в зоне субдукции
	Океаническая кора и зона субдукции



- I Западно-Уральская внешняя зона складчатости
- II Центрально-Уральское поднятие
- III Магнитогорский прогиб
- IV Восточно-Уральское поднятие
- V Восточно-Уральский прогиб
- VI Зауральское поднятие



Предполагаемые древние рифтовые зоны

Рисунок 3 – Структурно-формационное районирование складчатой части Оренбургской области с предполагаемыми древними рифтовыми зонами Масштаб 1 : 3 680 000

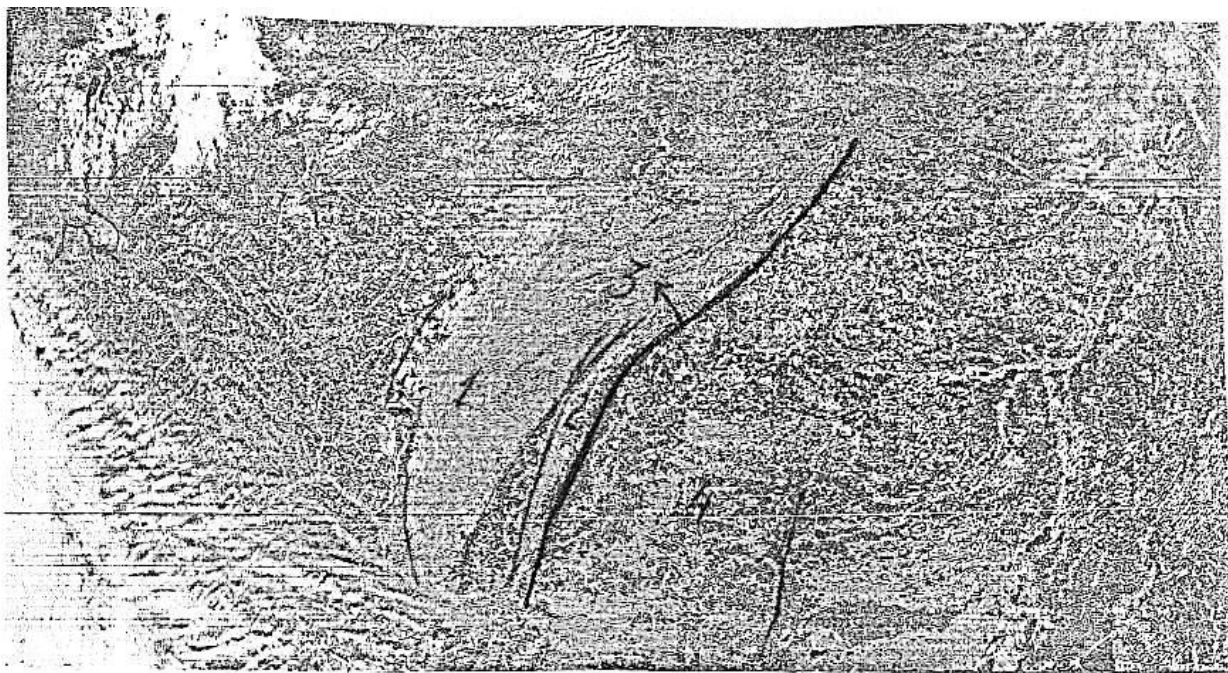


Рисунок 4 – Рифтовая зона в Магнитогорском прогибе. Масштаб 1 : 7 000 000

Условные обозначения к рисунку 4



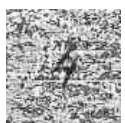
Южно-Уральские горы



Ирекдыкский хребет



Рифтовая зона в осевой части Магнитогорского прогиба



Урало-Тобольское плато



Рифтовая зона меридионального простирания

Рисунок 5 – Магнитная карта востока Оренбургской области

Контрольные вопросы

1. Что такое офиолиты?
2. Признаки присутствия древнего океана на Южном Урале.
3. Время образования и завершения океана на Южном Урале.
4. Скорость спрединга океана на Южном Урале.
5. Рифтовые зоны океана на Южном Урале

3 «Горячие пятна» Земли

Океанические хребты. Характерный признак — землетрясения под ними. А как образовались те из них, где землетрясений нет? Вулканические цепи, что проходят прямо поперек плит, не сообразуясь ни с каким здравым тектоническим смыслом теории дрейфа. Как объяснить их происхождение, как найти силу, которая вспарывает плиты и над океаном воздвигает острова?

Однако, надо сказать, уже давно было замечено, что не все проявления вулканизма и сейсмичности контролируются границами литосферных плит. Какая-то часть вулканов (хотя и небольшая) сконцентрирована вне границ литосферных плит. Наиболее яркий и даже выдающийся пример — вулканы Гавайских островов. Эти вулканы находятся на расстоянии тысяч километров от зон раздвижения или сближения плит, но это активно действующие вулканы. Значит, есть какие-то явления, которые прямо и непосредственно в тектонику плит не вписываются. Хотя уже и в шестидесятые годы было предложено по крайней мере два объяснения этого, как его стали называть, внутриплитового вулканизма.

Оказалось, что подобные вулканы находятся в конце протяженных вулканических цепей — цепи Гавайских островов и продолжающей ее на северо-запад цепи Императорских гор, цепи Туамоту, Маршалловых островов, цепи Восточно-Индийского хребта, Китовый хребет в Атлантике и других.

Процесс рождения островов можно проследить. Восемьдесят Гавайских вулканов, если отсчитывать от дна океана — это горы высотой с Эверест. Горы, которые тянутся на тысячи километров, уходят под воду и в виде Императорского хребта дотягиваются почти до Сибири. И чем дальше на север, тем старше вулканы. Как будто Гавайи только недавно родились, а те вулканы, что севернее, успели постареть, размыли их волны. Разнесенные на две тысячи километров — таково расстояние между островами Мидвей и Килауа, — они различаются по возрасту на 18 миллионов лет. Средняя скорость миграции вулканизма здесь около 13 см в год.

Для тектоники колоссальная скорость. И она удивительно близка скорости движения плиты в этом районе — те же 13 см в год. Случайно ли это совпадение?

Ученые уже тогда обратили внимание: возраст вулканизма меняется по простиранию цепи. Если на Гавайях мы видим действующие вулканы, извергающие огромное количество базальтовой лавы, то с движением на северо-запад вулканы «стареют». Это уже древние вулканы, возраст их от 10 до 40 миллионов лет.

Палеомагнитные данные также подтверждали правильность сделанных выводов. Так, тихоокеанская плита, например, сто миллионов лет назад находилась значительно южнее. За это время она переместилась на север почти на четыре тысячи километров.

Канадский геофизик Т. Вильсон, американский ученый Д. Морган и советский геофизик С. Ушаков высказали предположение, что эти цепи образовались над какими-то разогретыми участками мантии Земли. Они назвали эти аномальные области горячими точками (буквально «пятнами») планеты и решили, что именно эти чрезмерно разогреты участки питают внутриплитовый вулканизм. Но поскольку вулканы группируются в протяженные цепи, то следующий шаг в рассуждениях ученых был такой: горячие точки в мантии остаются неподвижными, а проходящие над ними литосферные плиты оказываются как бы над «прожигательной» линзой. Эта горячая точка, подобно сфокусированному солнечному лучу, прожигает плиту снизу. А в образовавшуюся «дырку» устремляется лава и выливается на поверхность. Вот откуда изменение возраста вулканов в цепи — плита проходит над горячей точкой, и вулканы возникают не одновременно, а последовательно. Там, где сегодня находится горячая точка, мы видим действующие «молодые» вулканы.

С самого начала было замечено, что расположение цепей в целом согласуется с направлением движения плит. Когда Д. Морган и другие исследователи сопоставили движение плит над горячими точками в разных районах Земли, то обнаружили, что есть некоторый каркас горячих точек, относительно которого плиты движутся одинаково. Появилась возможность говорить не только о движении плит относительно друг друга, но о каком-то абсолютном движении литосферных

плит. Точки, как видно, занимают сравнительно фиксированное положение, остаются на месте, в то время как плиты движутся. Еще вернее будет сказать, что «горячие точки» перемещаются, но во много раз медленнее, чем плиты.

Все три цепи тихоокеанских островов – результат движения плит над фиксированными горячими точками.

Откуда они взялись, неподвижные, раскаленные точки, проходя над которыми плита в 150 километров толщиной продырявливается насквозь? Каков источник энергии у «планетарных сварщиков»?

Да и существуют ли эти точки вообще? Если да, то, как это доказать? И на самом ли деле они неподвижны?

Горячие точки, по Моргану, это места выхода к поверхности первичного материала из внешнего, расплавленного ядра Земли, с глубин в 4 000 километров. Земля оказывается пронизанной, тонкими, диаметром всего около 150 километров, горячими жилками, что тянутся к поверхности. Скорость, с которой поднимается горячий поток, около 2 м в год. Обратных потоков нет. Мистическая концентрация энергии горячих точек — это энергия самых глубин Земли, нашедшая путь к поверхности.

Другое предположение получило условное название «продвигающаяся трещина». Из-за того, что плиты находятся в напряженном состоянии (это доказано: внутриплитовые землетрясения — своего рода разрядка от напряжений сжатия), они растрескиваются. Трещины и служат местами возможного появления «горячих точек».

Были и другие гипотезы. Одна из них, например, объясняла явление тем, что плиты движутся по Земле по эллипсоиду вращения, имеющему в разных местах различную кривизну. Есть критические широты — от двадцати пяти до тридцати градусов, — где эта кривизна наибольшая. Преодолевая в своем движении наиболее искривленные места, плиты растрескиваются. Образовавшиеся щели «залечиваются» поднимающимся снизу мантийным материалом.

Все эти гипотезы существуют одновременно. Хотя, пожалуй, большинство исследователей отдает предпочтение гипотезе «горячих точек» — восходящих

мантийных потоков. Думаю, что она действительно имеет на то основания. Но какая бы гипотеза на поверку ни оказалась истинной, реальность внутриплитового вулканизма несомненна.

Но главный критерий в науке — это опыт. Нет, недаром десятки исследователей во всем мире все последние годы тщательно изучали скорости и направления движения различных плит относительно друг друга. Накопленный экспериментальный материал неожиданно пригодился.

Можно предположить, что все вулканические цепи островов — это следы движения над горячими точками океанических плит за последние 200 миллионов лет. Коль скоро мы знаем скорости и направления движения плит, а также места, где под ними располагаются горячие точки, мы «предскажем» все современные цепи островов. Короче, зная координаты «горячих точек» (они находятся там, где сегодня есть самые молодые вулканы) и то, как движутся плиты, можно дать прогноз образования цепей островов на сегодня. И, в случае удачи, ответить сразу на два вопроса: есть эти точки или их нет — фиксировано их положение или они также могут двигаться?

Группа ученых — Ж. Б. Мьюстер из Принстона, Е. Ханиес из Калифорнии, Т.Н. Иордан из Принстона и Пит Молнар из Массачусетского технологического института — решили эту задачу. Здесь помогла ЭВМ.

Результат оптимистичен как для сторонников дрейфа, так и для приверженцев горячих точек. Они есть. Они фиксированы. Во всяком случае, в сравнении с плитами их можно считать неподвижными. Только для района Исландии получилась подвижная точка. Все остальные вычисленные цепи островов аккуратно совпали с реальными.

Теперь можно заранее предвидеть, где в ближайшие миллионы лет возникнут новые вулканические острова.

Кроме отдельных вулканов, существуют и другие проявления вулканизма. И сейчас есть обширные базальтовые поля, как, например. Колумбийское плато базальтов на западе США. Его возраст — пятнадцать миллионов лет. Есть вулканические плато в Центральной Азии — Дариганга на юге Монголии,

Витимское плато в Забайкалье. Такие излияния базальтов были широко распространены и в прошлом. В триасовое время (240 миллионов лет назад) в Сибири эти излияния распространились на огромные площади в районе Тунгуски. В Индии, Южной Африке, Южной Америке, Австралии они занимают огромные площади. Мощные излияния базальта (или, как их называют, траппы) предшествовали расколу континента. В юрское и раннемеловое время трапповые излияния были в Южной Африке и Южной Америке перед расколом Гондваны. Триасовое извержение в Сибири предшествовало «неудавшемуся», несостоявшемуся расколу. Как мы видим, прорывы глубинного вещества осуществляются не только в виде вулканических извержений. И не только в рифтовых зонах и островных дугах. Посреди громадных континентов трапповые ступени застывшей лавы говорят о происходивших здесь излияниях глубинного вещества.

С внутриплитовыми извержениями (базальтовыми, гранитными внедрениями) связаны месторождения полезных ископаемых. Норильские медно-никелевые руды, например, связаны с сибирскими траппами. Значит, внутриплитовый вулканизм важен для нас не только с теоретической, но и с чисто практической точки зрения.

Ну а теперь я хотел бы обратиться к области, в которой сами исследователи находятся на уровне гипотез или даже догадок. Казалось бы, теория тектоники плит позволила объяснить многие события в геологической истории, заглянуть в глубокое прошлое планеты и понять, что и как происходило там, а, все-таки есть большой круг явлений, которые прямо так, исходя из этой теории, не объясняются. Внутриплитовый вулканизм — одно из таких явлений. Но и в нем самом также есть события, которые не находят однозначной интерпретации.

Во-первых, очень часто с областями проявления внутриплитового вулканизма связаны крупные аномалии в рельефе. Известно, например, что Африканский континент поднят на километр по сравнению с другими континентами. А именно в Африке очень много проявлений вулканизма внутри плит. Гавайские вулканы расположены на крупном Гавайском своде. Его ширина достигает до тысячи километров, а над окружающей местностью он поднят на километр. Сводовые

поднятия, как правило, рассасываются, когда возраст лав достигает примерно тридцати миллионов лет. Гавайский свод этому правилу не подчиняется.

Еще одна загадка. На первый взгляд, внутриплитовый вулканизм хаотично разбросан по всей планете. Но более пристальное изучение показывает, что вулканы группируются в две крупные области, каждая из которых имеет в поперечнике шесть-девять тысяч километров, почти четверть земной сферы. Африкано-атлантическая область включает в себя вулканы Исландии на северо-западе, Азорские острова, Центрально-Французский массив, вулкан Тибести в Африке, вулканы островов Вознесения, Святой Елены, вулканы Индийского океана, Маврикий, Реюньон, Сент-Поль и Амстердам. Другую область можно назвать тихоокеанской. Она включает в себя вулканы острова Пасхи, Сала-и-Гомес, Гавайские острова, Туамоту...

Есть и более мелкие области — центрально-азиатская, куда входят вулканы Восточных Саян, Забайкалья и Монголии, и австралийская, куда включаются вулканы Эребус в Антарктиде, остров Балени и австралийские вулканы.

Между этими областями расположены пространства, на которых практически нет внутриплитового вулканизма. Особенно хорошо это видно в полосе, проходящей от Индии через Гималаи, Западную Сибирь, Восточно-Европейскую возвышенность. Здесь не видно никаких проявлений внутриплитового вулканизма по крайней мере за последние пятьдесят миллионов лет. Другая такая область проходит через Южную и Северную Америки.

Но дальше следует еще одно открытие. Оказывается, что с «горячими полями» связаны самые крупные нарушения в форме геоида Земли. В последние годы Земля с помощью спутников обследована очень детально, и с точностью до нескольких метров установлена форма геоида — реальная форма Земли. Выяснено, что есть два крупных поднятия, где геоид на 50-70 метров поднимается над эллипсоидом вращения. А есть места, где на такое же расстояние геоид опущен.

Оказалось, что с африкано-атлантическим «горячим полем» совпадает одно из поднятий, второе — с тихоокеанским «горячим полем». А в районе Индии — очень глубокий минимум в форме геоида. Поскольку форма геоида отражает события,

происходящие на больших глубинах Земли, естественно сделать предположение, что и «горячие поля» — отзвук глубинных процессов.

Наконец, последняя особенность внутриплитового вулканизма — его геохимическое выражение. Горячий материал глубин поднимается вверх (по гипотезе Моргана) не только под возникающими и возникшими вулканическими островами. Вспомним, что гигантские трещины, которые бегут по осям срединно-океанических хребтов, — те же жерла своеобразных вулканов, сквозь которые также поступает глубинное вещество. Где-то на глубине в 50 километров эта первичная магма превращается во вторичное вещество, в базальты, которые затем поднимаются к поверхности. Возникает вопрос: одинакова ли магма, из которой образуются базальты островов и срединно-океанических хребтов?

В том случае, если источник базальтов один и тот же, то есть первичная магма поднимается к поверхности из одного резервуара, их состав должен быть одинаковым. Одинаковыми должны быть и пропорции изотопов: изотопный анализ очень чуток к изменению состава. Химия вулканических пород изучалась очень детально. Главные их компоненты — кремнезем, глинозем, окислы железа, магния, кальция, калия, натрия — известны давно. Гораздо меньше были изучены малые добавки рассеянных элементов, таких, как рубидий; стронций, литий, галлий, европий и другие. Не был известен и изотопный состав химических элементов, составляющих вулканические породы.

Обследовали около тридцати островов. И во всех взятых на них образцах базальта соотношения изотопов стронция-87 и 86 оказались выше, чем у таких же базальтов, поднятых со дна в районе срединно-океанических хребтов. Иными оказываются у базальтов островов и хребтов пропорции изотопов свинца и других малых добавок. Короче говоря, получается, что у тех и у других базальтов принципиально разные источники, таящиеся где-то там, в глубинах Земли.

Совсем недавно неподалеку от срединно-атлантического хребта, на острове Хеймау, произошло сильное извержение вулкана, и на поверхности появились, что называется, свежеевыпеченные базальты. Их сравнили тем же способом с базальтами самого хребта, расположенного совсем неподалеку. Различие выступило ещё более

подчеркнуто очевидней. Выходит, что в каком-то смысле хребты и вулканические цепи — суть независимые от разных причин происшедшие черты лика Земли.

Оказалось, что именно рассеянные элементы и изотопные характеристики — главные опознавательные знаки, которые говорят нам о том, что происходит в глубине Земли. Геохимики выделяют группу элементов с крупными ионными радиусами, такие, как рубидий, барий, стронций, самарий, европий. Их особенность в том, что они не совместимы с другими элементами и ведут себя очень «независимо» в геохимических процессах при плавлении и разделении магмы на фракции. Их количество остается более или менее постоянным как в начальном продукте, так и в лаве, поступившей на поверхность. Соотношение этих элементов между собой — своеобразный индикатор геохимических особенностей того вещества, из которого произошел магматический расплав.

В последнее время геохимики очень пристально изучают эти элементы. Изучение изотопов стронция, неодима, гафния дало возможность судить о том, что происходит в глубине Земли. Например, отношение радиоактивного изотопа стронция-87 к нерадиоактивному изотопу стронция-86 со временем меняется, стронций-87 будет накапливаться. То же самое происходит с изотопом неодима-143, который образуется при распаде изотопа самария-147.

Изотопное соотношение в породах одного и того же происхождения сохраняется в течение геологической истории. Если мы знаем время, когда были запущены изотопные «часы», то можем рассчитать и время образования самой породы. Можем судить и о тех условиях, в которых эти породы образовались.

Когда геохимики начали изучать базальты (продукты непосредственного выплавления из мантии Земли), выяснилось, что есть две группы базальтов. Первая слагает ложе океана, а вторая появляется в результате внутриплитового вулканизма. Базальты срединно-океанических хребтов обладают постоянным составом. В них очень мало редких элементов с крупными ионными радиусами и очень низкое соотношение изотопов стронция.

Базальты, появившиеся в результате извержения вулканов внутри плит (на Гавайских и Азорских островах, в Исландии, в западной Европе), содержат,

оказывается, в два, а иногда и в три раза больше редких элементов. Несмотря на одинаковый химический состав этих двух видов базальтов (в них равное содержание кремнезема, глинозема, магния, кальция, железа), содержание элементов с крупными ионными радиусами в них совершенно различное. И это накладывает на породы такой отпечаток, что отличить эти базальты друг от друга не составляет труда. Изотопные отношения (различных изотопов стронция, например) у них тоже совершенно другие, чем у базальтов океанического дна.

Именно поэтому геохимики начали говорить о существовании двух источников магмы. Один питает базальты срединно-океанических хребтов. Другой — богатый редкими элементами — дает внутримитовые базальты океанических островов и континентов.

Какие тут возможны объяснения? Одно из них: под срединно-океаническими хребтами и под внутренними частями — разные термодинамические условия. При больших температурах и давлениях, которые существуют под вулканическими островами, создаются условия для обогащения лав щелочами и литофильными (редкими) элементами. Другое предположение: неоднородность существует в самой мантии. В ней самой есть участки, богатые литофильными элементами, а есть участки, лишенные их.

Но когда геохимики провели некоторые расчеты, то оказалось, что существует баланс: кора океаническая и кора континентальная дополняют друг друга по составу. В сумме содержание литофильных элементов в коре обоих типов такое же, как в первичном веществе Земли. Геохимики попытались проследить, как ведут себя изотопные соотношения с продвижением в глубь Земли. Когда начинается разделение радиоактивных элементов на различные ионы? Оказалось, что изотопные часы были запущены полтора-два миллиарда лет назад. Очевидно, именно в это время произошло важнейшее событие в жизни Земли — разделение верхней мантии на две геохимически различные фазы: континентальную и океаническую. Причины этого события пока неясны, остается лишь догадываться, почему это произошло.

Дальнейшие исследования показали, что лава вулканов, приуроченных к «горячим точкам», имеет состав, отличный и от состава континентальной коры. Здесь изливается на поверхность лава, которая по своему составу больше всего напоминает первичное вещество Земли. Так с помощью геохимии были найдены три источника, питающие современный вулканизм. Один из них поставляет лаву, выходящую из рифтов океанического дна, другой — ту лаву, которая рождается из континентальной коры, и третий дает то вещество, которое вырывается на поверхность в извержениях внутриплитовых вулканов и в траппах на континентах.

Эти проблемы обсуждаются сейчас на всех конгрессах, конференциях, совещаниях ученых. Можно сказать, что мы присутствуем при рождении новой области знаний о Земле. Здесь еще много догадок, гипотез, предположений, но геологи упорно ищут ответы на вопросы, которые ставит перед ними Земля.

Как появились эти различные резервуары мантийного вещества и где они находятся? Одна из гипотез предполагает, что неистощенное мантийное вещество сконцентрировано в верхней мантии. Большая же часть геохимиков считает, что где-то на рубеже двух миллиардов лет произошло разделение первичного однородного вещества мантии Земли. Выделилась верхняя мантия, которая в свою очередь разбилась на две части — континентальную кору, богатую редкими элементами, и мантию под океанами. Континентальная кора легче океанической — вот откуда появилась у континентальных плит возможность передвигаться.

А более тяжелая океаническая кора прорывается в любую трещину, которая появляется в океаническом дне. Геологи из подводных аппаратов своими глазами наблюдали, например, в Красном море, как в щель шириной всего пятьдесят километров изливаются базальты. Рядом — огромные континенты Аравия, Африка. Они совсем недавно разошлись, а базальты на дне Красного моря ничем не отличаются по составу от базальтов срединно-атлантического хребта — истощенные базальты с малым количеством редких элементов. Это показали анализы.

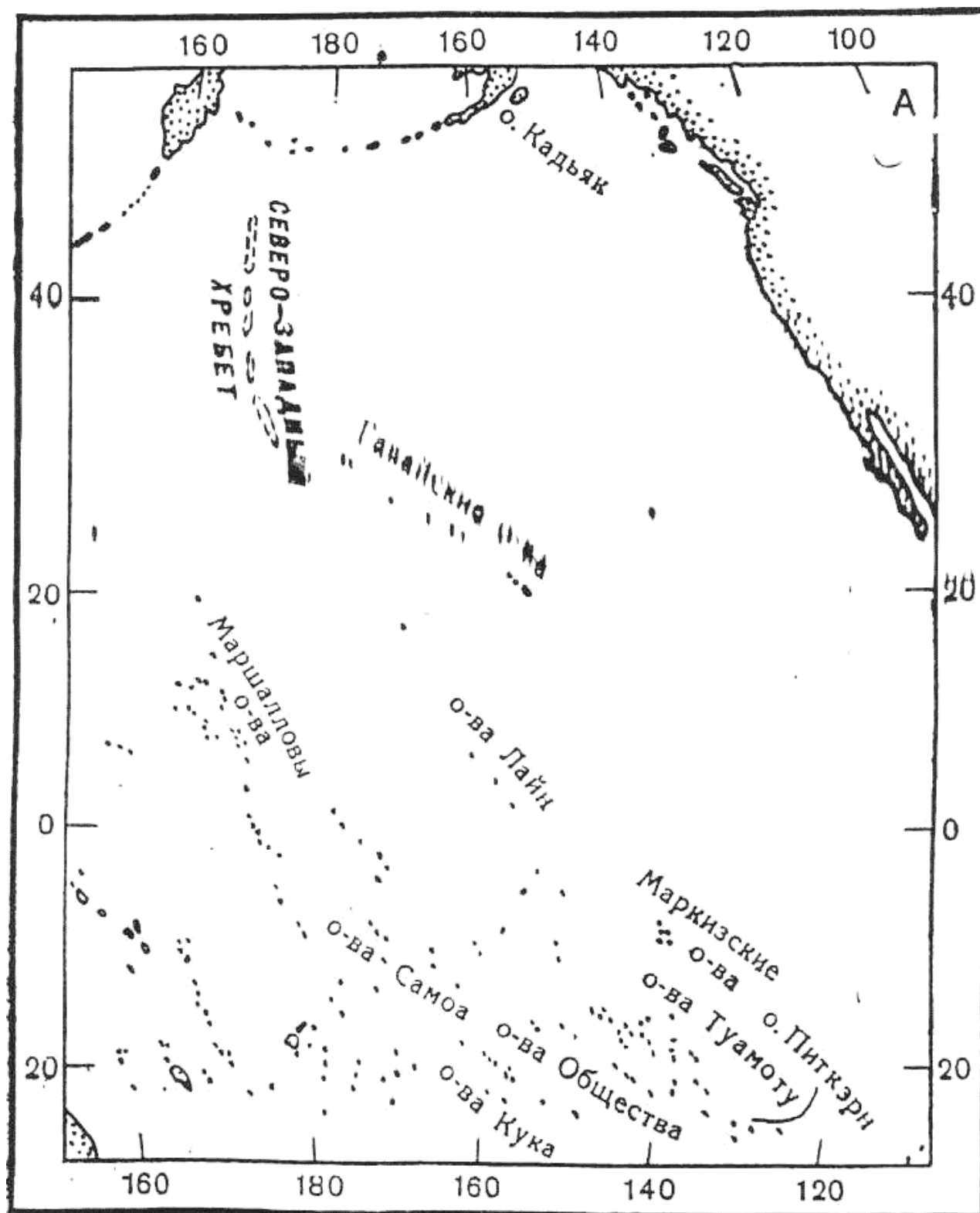


Рисунок 6 – Цепи вулканических островов (островные гряды) в северной части Тихого океана (по Jd. Jackson, 1976).

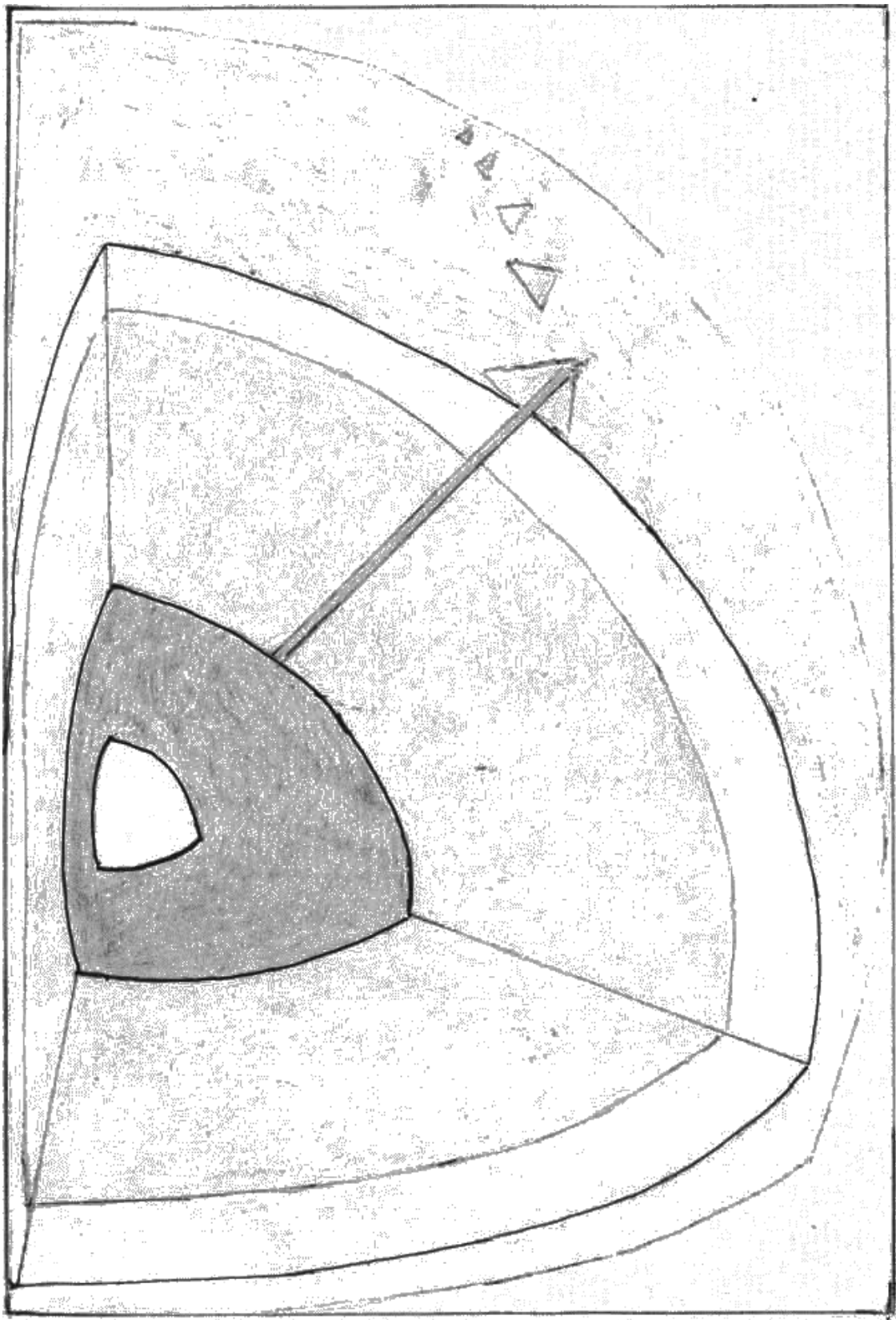


Рисунок 7 – Подобно автогену проплавляет скользящую над ней плиту «горячая точка». Так рождаются вулканические острова (по Е. Цветкову).

В нижней же части мантии осталось неистощенное вещество, которое прорывается наверх какими-то струями до подошвы литосферы, здесь оно скапливается, образуя те самые «горячие точки», с которых мы начали рассказ. Плиты проходят над этими точками, и они их «прожигают». Но проходя наверх, струи прихватывают вещество верхней мантии. Поэтому состав лав внутриплитовых вулканов различен. В то время как состав излияний в срединно-океанических хребтах очень однороден.

Сейчас в модели устройства Земли видятся новые детали. Большие «горячие поля», отвечающие аномалиям геоида, соответствуют восходящим конвективным потокам в нижней мантии. «Холодные поля» — отражение нисходящих ветвей. Конвекция в верхней мантии и в нижней происходит отдельно.

Горячие точки отражают дыхание глубинных частей мантии. Движение в нижней мантии формирует самые крупные детали лика Земли — аномалии геоида. «Горячие поля» остаются неподвижными относительно оси Земли по крайней мере последние 120 миллионов лет (а может быть, и больше). Перемещаются литосферные плиты, меняют свое положение глубоководные желоба, а «горячие поля» остаются все на тех же местах.

Контрольные вопросы

1. Глубинный тектонический механизм внутриплитового вулканизма.
2. Цепочка вулканических островов в Тихом океане.
3. Причины различного содержания редких и рассеянных элементов в базальтах внутриплитовых лав и рифтовых зон срединно-океанических хребтов.
4. Траппы.

4 Характеристика Охотского моря и его отложения

Охотское море относится к типу котловинных окраинных морей, как и расположенные рядом Берингово и Японское. Охотское море ограничивается с запада и с севера восточным побережьем Азии (Хабаровский край) и островом Сахалин, с востока – полуостровом Камчатка, Курильскими островами, с юга – островом Хоккайдо (Япония).

Охотское море расположено в пределах переходной зоны от Азиатского континента к Тихому океану. Дно этого моря представляет мозаику структур разного типа и разных стадий развития, как пишет Г.Б. Удинцев. В центральной части моря расположена обширная ступень глубокого шельфа с двумя подводными возвышенностями – Академии Наук СССР и Института Океанологии, которые разделяют котловины Охотского моря на три впадины: Курильскую котловину, впадину ТИНРО и впадину Дерюгина, прилегающую к восточному склону Сахалина. Минимальные глубины моря приурочены к возвышенности Института Океанологии (860 м) и к возвышенности Академии Наук СССР (894 м). Максимальные глубины во впадинах составляют: в Курильской котловине – 3 374 м, во впадине ТИНРО – 991 м и во впадине Дерюгина – 1 795 м.

Регион Охотского моря образует литосферную плиту, расположенную между Северо-Американской, Евразийской и Тихоокеанской плитами. Ее границей со стороны Тихого океана является Курило-Камчатский глубоководный желоб, а с континентальной стороны - глубинные разломы, простирающиеся вдоль Сахалина.

Осадочный чехол выполняет отдельные глубоководные впадины, мощность его достигает 12 км (впадина Дерюгина). Он сложен в основном осадочными, частично вулканогенно-осадочными породами позднемелового-кайнозойского возраста. В позднемеловую эпоху накопление осадков происходило в рифтогенных условиях и сопровождалось значительной вулканической активностью. Образовывались глубоководные бассейны, выполненные вулканогенно-кремнистыми отложениями, постепенно сменяющимися вверх по разрезу более мелководными породами. В кайнозойскую эру образовалась основная часть

осадочных бассейнов. Отложения этого времени, сплошным чехлом перекрывающие подстилающие образования, содержат почти все нефтегазоносные комплексы Охотского моря.



Рисунок 8 – Схема расположения плит (составлена по данным: Kiratzi, Papazachos, 1996; Maruyama et al., 1997; KOMEX, 1998-2000).

Татарский пролив представляет собой крупный прогиб-грабен, сложенный мощной толщей (до 8-10 км) мезозойско-кайнозойских осадочных образований. Осадки, выполняющие прогиб, расчленяются на четыре структурных комплекса, отделенных друг от друга региональными стратиграфическими несогласиями, и различающихся по структурно-вещественной и физической характеристикам: верхнемеловой, палеогеновый, олигоцен-нижнемиоценовый и средний миоцен-четвертичный.

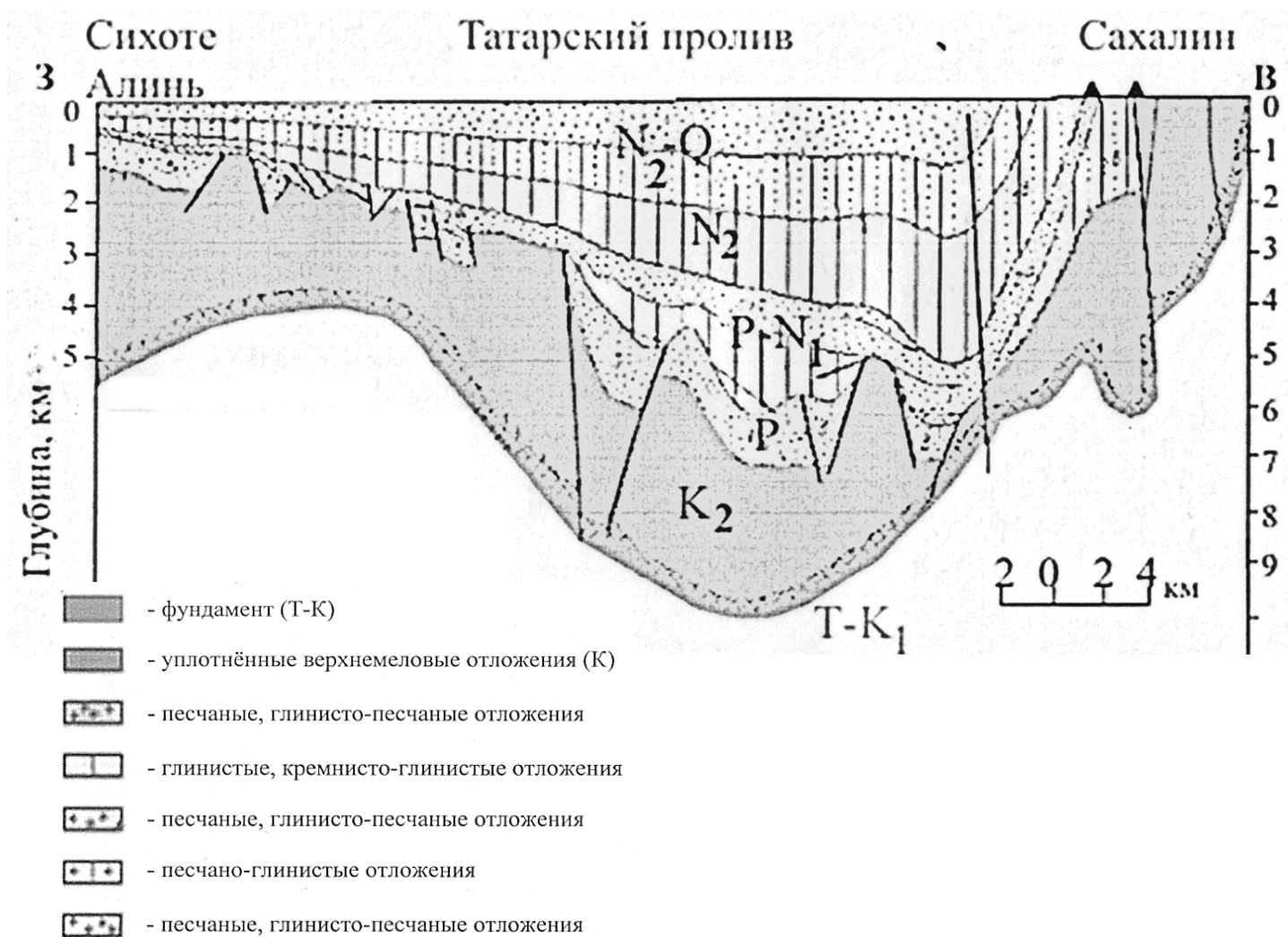


Рисунок 9 – Глубинное строение Татарского пролива (Структура..., 1996)

По своей глубинной структуре прогиб Татарского пролива представляет собой рифт шириной около 50 км и глубиной 4 км. Поверхность Мохо расположена на глубине около 30 км. Формирование рифтовой структуры Татарского пролива связано с апвеллингом астеносферы.

Курильская котловина Охотского моря относится к задуговым впадинам. Толщина коры составляет 8-10 км, из которых 4 км приходится на осадочный чехол.

Изучение глубинного строения региона Охотского моря показывает, что толщина коры меняется от 35-40 км под Сахалином и Курильскими островами до 10 км под Курильской котловиной. Астеносфера образует диапировые выступы под

Курильской котловиной и прогибом Татарского пролива, в основании этих структур расположены рифты – спрединговые центры.

Подъем астеносферных диапиров к коре обусловил высокий тепловой поток, плавление вещества верхней мантии, образование рифтовых структур или спрединговых центров с последующим формированием глубоководных котловин, заполненных кайнозойскими осадками, содержащими углеводородные залежи.

Формирование прогиба Татарского пролива связано с простираем на север спредингового центра, отмеченного в глубоководной котловине Японского моря. Формирование Курильской котловины также связано со спрединговыми процессами, которые имели место в позднем мелу.

На рисунке показано глубинное строение литосферы под осадочным прогибом Татарского пролива, где выявлено Изильметьевское газовое месторождение. Осадочному прогибу соответствует поднятие горячего астеносферного диапира, обусловившего расколы земной коры, образование рифтовых структур в основании прогиба, проявление магматической активности и прогрев осадочной толщи. Астеносферный диапир мог быть дополнительным источником углеводородов и флюидных потоков, обеспечивающих активную гидротермальную деятельность.

Особенности географического положения Охотского моря сказываются на процессе осадкообразования и составе осадков. Здесь выделяются три главных источника поступления осадков в море: снос терригенного материала с материка, вулканогенный и терригенный материал с Курильской островной дуги и Камчатки, органогенные осадки в пелагической области моря.

В Охотском и Беринговом морях в поясах биогенного кремненакопления и слабого терригенного питания накапливаются кремнисто – глинистые диатомовые илы. В этих морях в последнее время усилилось кремненакопления, но аккумулятивные тела абиссальных равнин сложены большей частью турбидитами.

В виду замкнутости глубоких частей бассейнов в осадках обнаруживается концентрическая зональность. От периферии к центру котловин наблюдается уменьшение скоростей накопления и абсолютных масс осадков, увеличение доли биогенного кремнезема и глины, уменьшение терригенного материала.

Осадочный чехол Охотоморского региона испытал литификацию вплоть до позднего катагенеза, но метаморфизмом не затронут. Он распространен повсеместно. Фундамент сложен вулканогенными породами основного состава; менее распространены метаморфические породы и граниты. Возраст пород фундамента – 90-105 млн. лет.

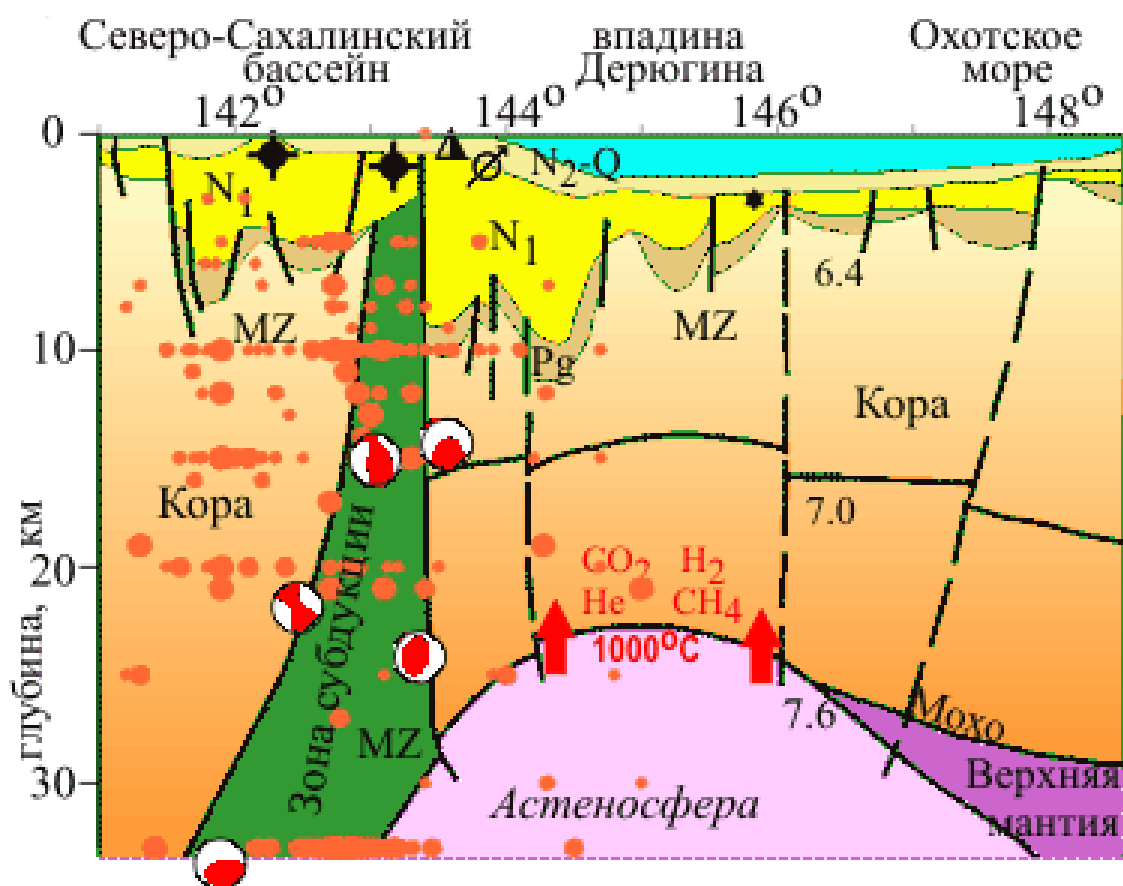


Рисунок 10 – Глубинное строение коры и верхней мантии под Изильметьевским газовым месторождением (Татарский пролив, регион Охотского моря).

Курильская цепь островов представляет собой Курильскую островную дугу. Параллельно дуге с океанической стороны простирается Курильско-Камчатский желоб вплоть до Алеутских островов. Область восточного ограничения Охотского моря характеризуется высокой сейсмичностью. Здесь часты сильные землетрясения, тектонические подвижки, являющиеся причиной возникновения цунами,

интенсивно проявляется вулканизм. Эти особенности восточного ограничения моря являются следствием интенсивного процесса - поглощения Тихоокеанской океанической коры в зоне Беньофа, поверхностные края которой отображаются глубоководным желобом. Дно Охотского моря в центральной части сложено глубоко погруженными блоками материковых платформ, которые граничат крутыми уступами с корой океанического типа.

Ложе Охотского моря считается корой переходного типа, характеризующейся чередующимися блоками с континентальной и океаническими корами с нетипичными мощностями гранитного и базальтового слоев.

Значительным источником сноса разнообразных осадков является Курильская островная дуга. По набору слагающих ее горных пород – это «царство андезитов». Андезиты составляют 69 % всех вулканитов. Вулкано-терригенные осадки покрывают всю подводную поверхность Курильской дуги до глубины 3-5 км. Преобладают пески, реже алевроиты. На шельфах и вершинах подводных поднятий отмечаются галечники и песчано-гравийные осадки.

Курильская островная дуга (равно как и другие островные дуги) представляет собой громадное горное сооружение (подводные и надводные) на границе океана и окраинных морей. Она представляет собой специфическую структурно-фациальную зону, включающую широкое разнообразие фаций от наземных (острова) и мелководных (островные шельфы) до глубоководных (островные склоны, глубокие проливы).

Для всех фаций характерно:

1. Высокая подвижность вод, в том числе придонных, предопределяющая широкое распространение грубозернистых осадков.
2. Питание обломочным материалом за счет самой островной дуги – терригенным, вулканокластическим, эдафогенным материалом.
3. Сложнорасчлененный горный рельеф.

Выпуклая к юго-востоку Курильская островная дуга, вытянутая на 1 200 км между Камчаткой и островом Хоккайдо, выражена гирляндой увенчанных вулканами островов Большой Курильской гряды и расположенной к востоку от

самой южной части короткой Малой Курильской грядой (о. Шикотан и др.); ее северным продолжением служит подводный хребет Витязя. Средняя часть Большой Курильской гряды, хребта Витязя и разделяющей их продольной депрессии относительно понижена. К юго-востоку от Курильской дуги, а также южной части Камчатки и о. Хоккайдо простирается на 2300 км дугообразный Курило-Камчатский желоб с глубинами дна до 8-10 км, а за ним — широкий асимметричный вал Зенкевича, плавно переходящий к востоку в ложе Тихого океана.

В сложении фундамента внешней дуги, судя по ксенолитам из его пород, вынесенным на поверхность, участвуют гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, породы офиолитового комплекса и другие, происходящие из мезозойских образований и более глубоких горизонтов континентальной коры. Этот комплекс несогласно перекрыт маломощными неогеновыми базальтами и андезитами.

Междуговой прогиб расположен между внешней и внутренней островными дугами, контакт с которыми происходит по системе разломов. Ширина прогиба 45-60 км. Сложен он неогеновыми и четвертичными туфогенно-осадочными образованиями. Мощность осадков превышает 3 км. Толщина коры под прогибом уменьшается до 20 км.

Под всей Курильской дугой распространена континентальная кора с мощным «базальтовым» (до 20 км) и маломощным «гранитно-метаморфическим слоем». Ее общая мощность составляет под Большой грядой 30-35 км и постепенно уменьшается к оси желоба до 1,5 км.

Это относительно молодая островная дуга, поскольку ее цепь островов далеко выдвинута в океан. На островах обнажаются преимущественно молодые кайнозойские отложения.

Курило-Камчатский желоб асимметричен. Его западный, более крутой, осложненный сбросовыми ступенями склон сложен несогласно залегающими на верхнемеловых образованиях неогеновыми отложениями. В нижней части склона они деформированы, возможно, вследствие схода оползней. Плоское дно желоба

выстлано маломощными недислоцированными осадками. Более пологое восточное крыло желоба и вал Зенкевича обладают разбитой на блоки корой океанического типа. Маломощный не сплошной чехол океанских осадков подстилается здесь меловыми толеитовыми базальтами второго слоя океанической коры, под которыми местами вскрываются диабазы, габброиды и ультрабазиты последнего третьего слоя.

К полезным ископаемым на островах Большой Курильской гряды относятся образовавшиеся в подводных условиях вулканогенно-экспозиционные колчеданные медно-полиметаллические миоценовые руды. На самом севере гряды – месторождение серы в кратере действующего вулкана Эбеко.

Над астеносферными диапирами в осадочном чехле в Татарском проливе и впадине Дерюгина зафиксированы залежи углеводородов, а в Курильской котловине на вершинах подводных вулканов установлена сульфидная минерализация.

Интенсивность газообразования отмечается в толще осадочного чехла Курильской впадины.

Контрольные вопросы

1. Тип Охотского моря.
2. Тектонические процессы в Охотском море.
3. Источники осадконакопления в Охотском море.
4. Астеносферные диапиры в Татарском проливе.
5. Кора переходного типа в Охотском море.

5 Шельф

Среди множества факторов, влияющих на фациальную организацию приконтинентальной области, выделяются три главных: поставка терригенного материала, биогенные процессы генерации осадочного вещества и динамика вод.

Поставка терригенного материала с континентов в океан имеет отчетливо очаговый характер: подавляющая часть продуктов денудации суши выносится немногочисленными гигантскими реками, тогда как все малые реки, абразия берегов, ледовый и эоловый вынос составляют резко подчиненную долю приходного баланса терригенного материала.

На расположение бассейнов крупных рек, на их твердый сток и состав выносимого материала оказывает влияние не меньшее, чем климатические факторы, рельеф континентов, то есть тектонический фактор. Помимо того имеет значение вдольбереговая «орогидрографическая» зональность, поставка терригенного материала, состав пород, их податливость денудации, то есть геологический фактор. Имеет значение тектоническое различие берегов: «пассивный» и «активный» типы.

Шельф (англ. shelf), континентальный шельф, материковая отмель, выровненная часть подводной окраины материка, примыкающая к суше и характеризующаяся общим с ней геологическим строением. Границы шельфа — берег моря или океана и так называемая бровка (резкий перегиб поверхности морского дна — переход к материковому склону). Глубина над бровкой близка к 100-200 м (но в некоторых случаях достигает 500-1 500 м, например южная часть Охотского моря, бровка Новозеландского шельфа).

Шельф как историко-геологическая категория существовал во все геологические периоды, в одни из них резко разрастаясь в размерах (например, в юрское и меловое время), в другие занимая небольшие площади (пермь, девон). Современная геологическая эпоха характеризуется умеренным развитием шельфовых морей.

Шельф — часть подводной окраины материков, в пределах его развита земная кора материкового типа. Существует общность геоморфологических особенностей

прибрежной суши и шельфа. Широко распространены различные реликтовые субэральные формы рельефа и отложения, а также многочисленные следы древних береговых линий, что указывает на возникновение шельфа в основном в результате затопления окраин континентов при подъёме уровня Мирового океана в послеледниковое время и вследствие новейших тектонических погружений земной поверхности. В меньшей степени распространены шельфы, образующиеся при отступании берега под действием абразии или при подводном накоплении мощных толщ осадков у края континента.

Материковая отмель (шельф) относится к неритовой зоне, к которой принадлежит и та часть берега, что заливается водой во время приливов. Часть берега, заливаемая морем во время приливов и освобождающаяся от воды во время отливов, называется литоралью. Ширина ее достигает иногда 1-1,5 км.

Шельф издавна используется в целях рыболовства и промысла морских животных; промышленный лов рыбы в шельфовых водах составляет 92 %. Широко развернулись на шельфе работы по поискам и разведке полезных ископаемых, в особенности нефти и газа.

Современные шельфы представляют собой зону транзита терригенного материала. Они разделяются на три главные фациальные зоны:

1. Прибрежные мелководья (до глубины 50 м), где осадочный материал перемещается главным образом поверхностными волнами;
2. Средняя часть шельфа (глубины 50-100 м), где перемещение материала почти не ощущается;
3. Внешний край шельфа – зона придонных течений и воздействия длинных волн (приливных, цунами и других).

Осадки шельфов по генезису и составу могут быть терригенными, биогенными и вулканогенными. В тропиках и субтропиках преобладает биогенный материал, в умеренных – терригенный, в районах современного вулканизма – вулканогенно-терригенный. В высоких широтах повышается доля айсберговых осадков.

Периферическая зона, отвечающая шельфу, занята наиболее крупнозернистыми осадками – песками, а непосредственно у берегов – гравием.

Наиболее характерными осадками шельфа являются:

1. Пески на открытых шельфах со слабо расчлененным рельефом.
2. Илистое дно наблюдается перед устьями больших рек, в закрытых бухтах.
3. Скалистое дно с гравием, галькой, щебнем во входах в заливы, в проливах между островами у скалистых берегов на открытых шельфах.

Подобное распределение осадков объясняется абразионной деятельностью моря и морскими течениями.

Фация прибрежного мелководья присуща практически всем морям. При впадении рек в море происходят преобразование принесенного тонкого вещества. При смешивании пресных речных вод с солеными морскими (в сущности с электролитом) происходит выпадение принесенных частиц в виде коллоидов. Так образуются морские илы – сложные коллоидные системы, подобные глинам. Через эту стадию прошли громадные массы глинистых и других сланцев, что привело к скоплениям железистых и марганцевых руд, отчасти бокситов и других.

Прибрежная зона представляет собой своеобразный фильтр, через который проходит сносимый с суши материал. Значительная часть его остается в прибрежной зоне, а тонкие речные взвеси частично коагулируют при встрече с соленой морской водой. Растворенные вещества переходят в другие соединения и частично оседают на дно; соединения азота и фосфора потребляются организмами. Но особенно активны в береговой зоне процессы механической дифференциации обломочного материала поступающего с суши. Весь этот материал находится в постоянном движении: перемещается, окатывается, дробится, истирается, сортируется по массе, размеру и прочности (сохраняются только устойчивые минералы и породы, а менее стойкие истираются) и переотлагаются в новых местах.

Касаясь вопроса о загрязняющих стоках, попадающих с материков в моря и океаны, рассмотрим пример Балтийского моря. Там живут 160 миллионов человек, кроме того, развитая промышленность — все это сбрасывается постепенно реками в море, и поэтому Балтийское море часто называют "помойкой Европы".

Однако, на границе «река-море» происходит преобразование вредных веществ, обусловленное явлением биофильтра.

Итак, все эти взвешенные и растворенные загрязнения поступают в море, и здесь происходит взаимодействие, с одной стороны, очень тонких, в значительной мере коллоидных, растворов и взвесей, с электролитом – морской водой.

И в результате вначале происходит осаждение крупных частиц, в том числе и крупных частиц загрязнений. Затем коллоидные частицы начинают коагулировать и захватывают растворенные формы элементов, переводят их в донные осадки. Таким образом происходит очищение водной среды.

Для береговой зоны характерны резкие контрасты всего комплекса физико-географических условий и быстрая изменчивость их во времени. Это связано с частыми, в ходе геологического времени, изменениями рельефа дна и очертаниями берегов, которые чутко реагируют на малейшие колебания, вызываемые тектоническими и эвстатическими причинами и находятся в сфере действия мощнейшего энергетического фактора – морских волн.

Основным геоморфологическим процессом в береговой зоне является выравнивание дна под общим воздействием абразии и аккумуляции.

Перемещение осадков в зоне прибоя видоизменяет поперечный разрез плоских и слабо наклонных берегов (пляжей), в том числе и площади, погружающиеся под воду. Образуются зоны размыва и зоны накопления (наносов). Пляжами называются скопления наносов в зоне прибоя, сформированных действиями прибойного потока.

Подводные валы и бары образуются вдоль плоских берегов, сложенных мелкозернистым материалом в верхней части подводного склона. Они тянутся параллельными грядами (две-три, реже одна) на протяжении десятков километров. Валы образуются на пологом дне, начиная с глубин, вдвое превышающих высоту волны. На этих глубинах волны забуруниваются и частично теряют энергию, оставляя часть переносимых наносов на дне. Постепенно наносы накапливаются, образуя валы. Подводный вал, выросший выше уреза воды – называется баром.

В ряде районов в средней части шельфа в испытывающем погружение внутришельфовых впадинах осадконакопление протекает быстро. Тем не менее, здесь задерживается лишь часть поступающего с суши терригенного материала.

Края шельфа – зона погружения осадков ограниченного или нулевого осадконакопления. Здесь могут быть барьерные ряды. В края шельфа врезаны вершины каньонов континентальных склонов – важных путей транспортировки обломочного материала с мелководий на большие глубины.

Нижняя часть шельфов, за пределами береговой зоны, формируется без участия механического воздействия волн. Там ведущая роль принадлежит приливно-отливным и в меньшей степени дрейфовым и другим течениям, а также мутьевым потокам.

Распределение на шельфах различных гранулометрических типов осадков отличается большой сложностью. На открытых шельфах преобладают обычно пески, а в защищенных бухтах – илы. В некоторых внутриматериковых морях (например, в Балтийском) осадки шельфа хорошо отсортированы по крупности и размеру зерен. Они уменьшаются по направлению от берегов.

Для всех шельфов характерны следующие особенности:

1. Они террасированы (то есть имеют ступенчатый поперечный профиль).
2. В отложениях шельфов, в целом, не отмечается закономерное уменьшение крупности обломочного материала по мере удаления от берега; каменистое или гравелистое дно занимает обширные пространства.
3. Отложения шельфов значительно грубее материала, поступающего в море в настоящее время.

Контрольные вопросы

1. Что такое шельф?
2. Фациальные зоны шельфа.
3. Распределение осадков в шельфе.
4. Преобразование осадков в шельфе.

6 Краткая характеристика нефтегазоносности подводных недр

Мировой океан представляет огромную кладовую нефти и газа. Из общей площади акваторий мира, составляющих 232 млн. км², около 15 млн. км² оцениваются как перспективные. Доказанные запасы нефти морских месторождений (без бывшего Советского Союза) оцениваются в 70-75 млрд. т., что составляет больше половины мировых запасов; запасы газа оцениваются примерно в 10-12 трлн. м³. К 1976 г. годовая добыча нефти из морских месторождений превышала 500 млн. т., что составило 22-23 % от общей добычи нефти в мире.

На границах океанских и континентальных частей плит (пассивные окраины) возникают структуры, близкие к понятиям синеклизы. Они имеют протяженность в сотни и тысячи км, мощность осадков достигает 10 км и более, продолжительность седиментации 50-100 млн. лет. Типичный пример Атлантическое побережье США. Мощность осадков компенсируется прогибанием фундамента. Мощность осадков является одним из важнейших факторов нефте- и газообразования как на континентах, так и в океанах. Другими факторами являются определенная степень консолидации осадков с образованием непроницаемых пластов, способных удерживать нефтяные залежи, а также долговременное воздействие на осадочное тело температуры порядка 60-120 °С. Такие условия создаются при погружении на материках осадочного чехла на глубины 1,5-2,5 км, то есть в зону катагенеза.

Наиболее перспективны для нефти и газа водоемы с мощностью осадков более 3 км. Но встречаются месторождения в интервале мощностей 0,3-3,0 км. Океан оказывается как бы опоясанным потенциальными месторождениями нефти и газа.

Шельфы Средиземного и Северного морей вмещают месторождения нефти и газа. Половина мировых запасов нефти содержится в древних рифовых образованиях.

Ученые Федынский С.А., Сорохтин О.Г. и Ушаков С.А., используя теорию плитотектоники (еще в советское время), предложили оригинальную теорию образования углеводородов. Нефть и газ – это результат возгонки и термолиза

биогенных веществ, затянутых вместе с океанической корой внутрь Земли, в тех местах, где край одной плиты погружается под другую. Грубо говоря, вся накопленная органика верхнего слоя погружающейся плиты под влиянием давлений и температур в глубинах может превращаться в нефть и газ. Места погружения краев плит – это живой, работающий сегодня генератор черного золота.

Но откуда тогда берутся месторождения нефти и газа в предгорных прогибах и краевых частях платформ, далеко от бурной границы столкновения плит? Они мигрируют, скапливаясь в этих местах. Миграция происходит под влиянием избыточного давления перегретого пара, который образуется при освобождении воды из вещества океанической коры, затянутой вглубь.

За время тектонического цикла нефтяные фракции могут мигрировать на сотни, а газовые – до тысячи км.

За миллиард лет работы такого планетарного генератора могло образоваться по оценкам ученых около 7×10^{15} тонн нефти, что в тысячу раз превышает массу всех геологических запасов, предполагаемых на сегодня. Если принять КПД процесса всего 0,1 %, этого с избытком достаточно, чтобы объяснить все существующие месторождения. Так конструктивная теория выходит в практику стратегии поисков месторождений углеводородов.

Крупнейшим нефтегазоносным регионом мира является Персидский залив. Самые крупные морские месторождения в мире: Лулу-Эсфандиар, Сафания, Канган и структура «С» – расположены здесь. Глубины залежей в заливе составляют от 1 400 до 3 935 м. Продуктивными являются мощные толщи известняков и песчаников нижнемиоценового, олигоценного и пермского возраста. Доказанные запасы здесь оценены в 50 млрд. т. нефти, а газа – 14 трлн. м³. Однако эти ресурсы еще не окончательны.

Несмотря на истощение сухопутных месторождений и существенный рост мировых цен на нефть, морское бурение по объемам работ в последние годы существенно уступает сухопутному. Такое положение объясняется ростом себестоимости нефтедобычи при переходе к освоению глубоководных, менее богатых месторождений. Тем не менее, к настоящему времени в глубоководных

областях Мирового океана уже разведано свыше 2,6 млрд. т запасов жидких углеводородов и 1,5 трлн. м³ газа. Сложились три главных центра глубоководных работ – у берегов Бразилии, вдоль западного побережья Африки (от Сенегала до Намибии) и в американском секторе Мексиканского залива, где в условиях больших глубин пробурено свыше 700 поисковых скважин и открыто 150 нефтяных и газовых месторождений, включая ряд месторождений-гигантов. Приоритет этих достижений принадлежит Бразилии, где в глубоководной части бассейна Кампос уже разрабатываются 40 нефтяных месторождений. Три крупнейших – Марлим, Альбакора и Ронкадор – имеют совокупные разведанные запасы свыше 1,1 млрд. т нефти.

С высокой эффективностью изучение глубоководной акватории ведется у побережья Западной Африки, прежде всего Анголы и Нигерии. Здесь в условиях пассивной окраины Атлантического океана выявлена система регионального развития турбидитовых отложений, с которыми связаны такие крупнейшие (100-3 000 млн. т) месторождения как Джирасол, Бонга, Диканза и др. Значительными являются и запасы открытых средних месторождений, оцениваемые в 44 млн. т.

В Мексиканском заливе темпы освоения ресурсов глубоководной области являются наиболее высокими в мире. Если до 1991 г. за пределами глубины 300 м. было открыто 15 месторождений, то за 1990-е годы – 67. Средние запасы месторождений здесь ниже, чем у побережий Бразилии и Африки (11 млн. т), но наиболее крупные имеют запасы, превышающие 100 млн. т (Грези Хоре, Льяно и др.).

В итоге на шельфах морей и океанов выявлено около 2 тысяч месторождений нефти и газа, пробурено более 300 тысяч скважин. Почти 100 стран ведут поисковые и эксплуатационные работы в акваториях на глубинах до 1,5 км.

Ресурсы Российского шельфа оцениваются в 136 млрд. т. условного топлива – 25 % мировых запасов; извлекаемые – в 100 млрд. т. Из них 14,2 млрд. т. приходится на нефть и около 82,5 млрд. м³ – на газ.

Площадь Российского континентального шельфа составляет приблизительно 6,2 млн. км², что соответствует 21 % всего шельфа Мирового океана. Из них

3,9 млн. км² перспективны на нефть и газ, причем 2 млн. км² относятся к западной Арктике, 1 млн. км² – к восточной, 0,8 млн. км² – к дальневосточным морям и 0,1 млн. км² – к южным (Каспийское, Черное, Азовское).

Поиски и разведка нефти и газа в Российской части акватории Каспия увенчались успехом. Выявлен целый ряд крупных структур, в том числе сводообразные – Центральная и Ялама-Самур. Открыто пять многопластовых высокодебитных месторождений нефти, газа и конденсата. Россией уже создана база для добычи нефти и газа в этом регионе. Здесь формируется новый Российский нефтегазодобывающий район с большими перспективами.

В Каспийском море все месторождения связаны с высокоамплитудными локальными складками, осложненными разрывными нарушениями и группирующимися в антиклинальные зоны. Залежи Южного Каспия связаны с песчаными слоями мощной терригенной толщи плиоценового возраста, а на шельфе Среднего Каспия – с миоценовыми, меловыми и юрскими горизонтами.

В Черном море, учитывая геологические предпосылки – мощность осадочного покрова (около 15 км), многочисленные нефте- и газопроявления в осадочной толще, – благоприятно оцениваются перспективы развития этого региона. Осадочная толща представлена глинистыми отложениями кайнозоя.

В Черном море на больших глубинах в растворенном состоянии концентрируется значительное количество метана, запасы которого могут представлять промышленный интерес. Сероводородная среда, расположенная на глубине ниже 200 м, является консервантом для метана. Источником метана могут быть бактерии, а также «углеводородное дыхание» Земли.

Почти всё пространство Арктики расположено на блоке дорифейской континентальной коры. В пределах арктического шельфа выделились два блока земной коры: Евразийский (Норвежско-Баренцево-Карский) блок и Амеразийский, который включает восточную часть моря Лаптевых и простирается далее на восток. Блоки разделены рифтовой зоной подводного хребта Гаккеля. На режим нефтегазоносности выделенных в пределах этих блоков осадочных бассейнов существенное влияние оказывал рифтогенез.

В пределах арктической акватории выделяются крупные прогнутые участки с повышенными толщинами отложений и поднятия, перспективные для поисков углеводородов.

В Евразийском блоке открыто уникальное Штокмановское газовое месторождение в Баренцевом море; газонефтяные месторождения Приразломное, Северо-Долгинское в Печорском море; газовые Русановское и Ленинградское в Карском море и другие. Российская часть данного блока составляет более 75 % разведанных запасов всего Российского шельфа – 8,2 млрд. т. условного топлива. В Амеразийском секторе Российской Арктики ещё не пробурено ни одной скважины и не открыто месторождений. Тем не менее, перспективы имеются, судя по наличию крупных месторождений в тех же толщах района Аляски.

Большое значение для формирования месторождений имеют процессы рифтогенеза, приводящие к образованию серии глубинных разломов и системы грабенов и горстов. На их месте унаследовано развиваются прогибы и впадины, заполненные осадочными толщами большой мощности 15-20 км.

Рифтогенез (растяжение земной коры) способствует генерации УВ в условиях избыточного давления и горячих глубинных флюидов и их миграции.

Существенную роль в новейшем тектоническом плане принадлежит арктической рифтовой системе, которая привела к образованию океанической коры в районе подводных хребтов Гаккеля и Книповича.

Кайнозойская рифтовая система, вероятно, уже без разрыва сплошности коры, имеет продолжение в пределах моря Лаптевых в виде системы горстов и грабенов, заполненных кайнозойскими осадками. Её южные ветви предположительно простираются на юг и юго-восток в пределах суши.

Особое значение в формировании месторождений западного сектора Арктики имеет триасовый рифтогенез, который действовал от раннего триаса до рэт-лейаса. Он привел к формированию обширных впадин в акватории Баренцева моря с толщинами осадочного чехла до 10 км.

Рифтогенез проявлялся в разные периоды времени, в том числе в рифее и кайнозое. Зоны рифтогенных прогибов и сформировавшиеся на их месте

сверхглубокие депрессии наиболее благоприятны для поисков УВ. Высокий тепловой поток и наличие нефтематеринских толщ обуславливают генерацию разных УВ.

Разрезы бассейнов арктического шельфа России представлены мощными толщами терригенных и карбонатных пород палеозойских, мезозойских и кайнозойских отложений. В разрезах осадочного чехла бассейнов западно-арктического шельфа прослеживаются три структурных этажа, разделенных границами несогласий.

Нижний структурный этаж представлен отложениями ордовик-девонского и каменноугольно-раннепермского возрастов. В нижних частях присутствуют протерозойские отложения. Венчается этаж карбонатами нижнеперми-карбона. Нижний структурный этаж залегает на глубине 5-15 км, поэтому слабо изучен.

Средний структурный этаж составляет основную часть разреза в восточной части бассейна Баренцева моря. Его толщина – 10 км, что объясняется триасовым рифтогенезом, которая выделена по максимальному погружению бассейна и появлению базальтовых интрузий в разрезе.

Верхний структурный этаж сложен терригенными породами юры, мела, палеогена и неогена. Изменения структурного плана сопряжены с формировавшимися в кайнозое впадинами северной части Атлантического океана. Прогибы выполнены толщами кайнозойских отложений от 2 до 5 км.

Выводы:

1. Зарождение всех осадочно-породных бассейнов в арктическом шельфе происходит на коре континентального типа с последующим преобразованием в результате многоэтапного синхронного рифтогенеза, что привело к формированию линейных зон, благоприятных для концентрации УВ.
2. Большая толщина осадочного слоя, от 10 до 20 км, в линейно вытянутых рифтовых зонах (глубоких депрессиях) – основные объекты поисков нефти и газа.

3. Влияние активного рифтогенеза юрско-мелового и кайнозойского возраста на окраины арктического шельфа, привело к исходному структурно-стратиграфическому строению всей окраины океанической впадины Северного Ледовитого океана.
4. Выявлены следующие ловушки УВ:
 - в отложениях каменноугольно-пермско-карбонатного и пермско-карбонатно-терригенного комплексов выявлено 40 органических построек – перспективных ловушек;
 - на юго-востоке Баренцева моря, в отложениях верхнего палеозоя и триаса, выявлено 50 антиклинальных и тектонически экранированных неантиклинальных структур;
 - на печорском шельфе находят своё продолжение крупные валообразные поднятия от материковой части Тимано-Печоры, где выявлены месторождения УВ.

Контрольные вопросы

1. Перспективы нефтегазоносности пассивных окраин океанов.
2. Условия образования месторождений нефти и газа в океанах
3. Суть теории С.А. Федынского, О.Г. Сорохтина и С.А. Ушакова.
4. С шельфами каких акваторий связываются наращивание Россией запасы и добыча нефти и газа.
5. Типы ловушек выявленных месторождений нефти и газа в Евразийском блоке Российского шельфа в Северном Ледовитом океане.

7 Литература, рекомендуемая для изучения дисциплины

Основная

1. Баландин, Р.К. Освоение шельфа России / Р.К. Баландин // Наука в России – 2005. - № 1. – С. 31-33.
2. Безруков, Ю.Ф. Океанология. Часть I. Физические явления и процессы в океане / Ю.Ф. Безруков – Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, 2006. – 159 с.
3. Безруков, Ю.Ф. Океанология. Часть II. Динамические явления и процессы в океане / Ю.Ф. Безруков – Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, 2006. – 122 с.
4. Бурлин, Ю.К. Геологические предпосылки перспектив нефтегазоносности шельфа российского сектора Северного Ледовитого океана / Ю.К. Бурлин, А.В. Ступакова // Геология нефти и газа – 2008 - № 4. – С. 13-23.
5. Географический атлас Оренбургской области / Научный редактор и составитель А.А. Чибилёв – М.: Изд-во ДИК и Оренбургское книжное издательство, 1999 г. – 96 с.: илл., карт.
6. Крылов, Н.А. Крупные открытия в российском секторе акватории Каспийского моря / Н.А. Крылов // Геология нефти и газа – 2004 - № 1. – С. 3-5.
7. Кутузова, М. Геополитика шельфовых проектов / М Кутузова // Нефть России – 2006 - № 1. – С. 35-39.
8. Пешкова, И. Основные открытия – впереди / И Пешкова // Нефть России – 2006 - № 11 – С. 30-33.

Рекомендуемая

1. Баландин, Р.К. Шельфы — владения земли или океана? / Р.К. Баландин // Знание — сила – 1975 - № 6. – С. 33-35.

2. Баранов, Б.В. Газовый факел в Охотском море / Б.В. Баранов, К. Гедике, Е.П. Леликов // Природа – 1996 - № 9. – С. 43-47.
3. Газохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря / А.И. Обжиров, [и др.]. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – 184 с.
4. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области / А.С. Пантелеев, [и др.] – Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1997. – 272 с.
5. Геология океана. Осадкообразование и магматизм океана / отв. ред. П.Л. Безруков – М.: Наука, 1979. – 416 с. : ил. – (Океанология).
6. Городницкий, А.М. След в океане / А.М. Городницкий – Петрозаводск: Изд-во «Карелия», 1993. — 592 с.
7. Дикенштейн, Г.Х. Тектоника нефтегазоносных провинций и областей СССР / Г.Х. Дикенштейн, С.П. Максимов, Т.Д. Иванова – М.: Недра, 1982 – 221 с.
8. Дубинин, В.С. Особенности геологического строения кристаллического фундамента и закономерности размещения месторождений нефти и газа в юго-восточной части Волго-Уральской антеклизы / В.С. Дубинин // Недра Поволжья и Прикаспия. – Саратов: Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики, 1996. – вып. 10 (январь).
9. Зоненшайн, Л.П. На дне Уральского океана / Л.П. Зоненшайн // Знание-сила – 1981 - № 4 – С. 15-16.
10. Зоннштайн, Л.П. Горячие пятна Земли / Л.П. Зоненшайн // Знание-сила – 1985 - № 2 - С. 4-7.
11. История развития Уральского палеоокеана / отв. ред. Л.П. Зоненшайн, В.В. Матвеев; Ин-т океанологии АН СССР. – М., 1984. – 164 с.
12. Леонтьев, О.К. Морская геология (Основы геологии и геоморфологии дна Мирового океана): учебник для географ. и океанолог. спец. ун-тов / О.К. Леонтьев. – М.: Высш. школа, 1982. – 344 с., ил.
13. Океанология. Химия вод океана / гл. ред. А.С. Монин. – М.: Наука, 1979. – Т. 1. – С. 133-164.

14. Панкратьев П.В. Геологическая обстановка, формирование колчеданных месторождений Оренбургской части Южного Урала. Водные ресурсы, геологическая среда и полезные ископаемые Южного Урала / П.В. Панкратьев, С.В. Юрина // Сборник статей оренбургского отдела ОП и ОГС Горного института УрО РАН – Оренбург, ОГУ, 2000. – С. 173-186.
15. Подводные горы и вулканы Курильской островной гряды / П.Л. Безруков, Н.Л. Зенкевич, В.Ф. Канаев, Г.Б. Удинцев // Труды лаборатории вулканологии – 1998 – вып. 13 – С. 71-78.
16. Подводный газовый источник в Охотском море к западу от острова Парамушир / Л.П. Зоненшайн, [и др.] // Океанология – 1987 - № 27 – С. 795-800.
17. Пронин, А.А. Основные черты истории тектонического развития Урала. Каледонский цикл / А.А. Пронин – М.-Л.: Изд-во «Наука» АН СССР, 1971. 216 с.
18. Слевич, С. Б. Шельф. Освоение и использование / С.Б. Слевич – Л: Гидрометеиздат, 1977. – 239 с.: илл.
19. Строение дна Охотского моря / отв. редакторы В.В. Белоусов, Г.Б. Удинцев – М.: Наука, 1981. - 176 с.
20. Цветков, Е. Не дрейфом единым... / Е. Цветков //Знание-сила 1975 - № 2 – С. 22-23