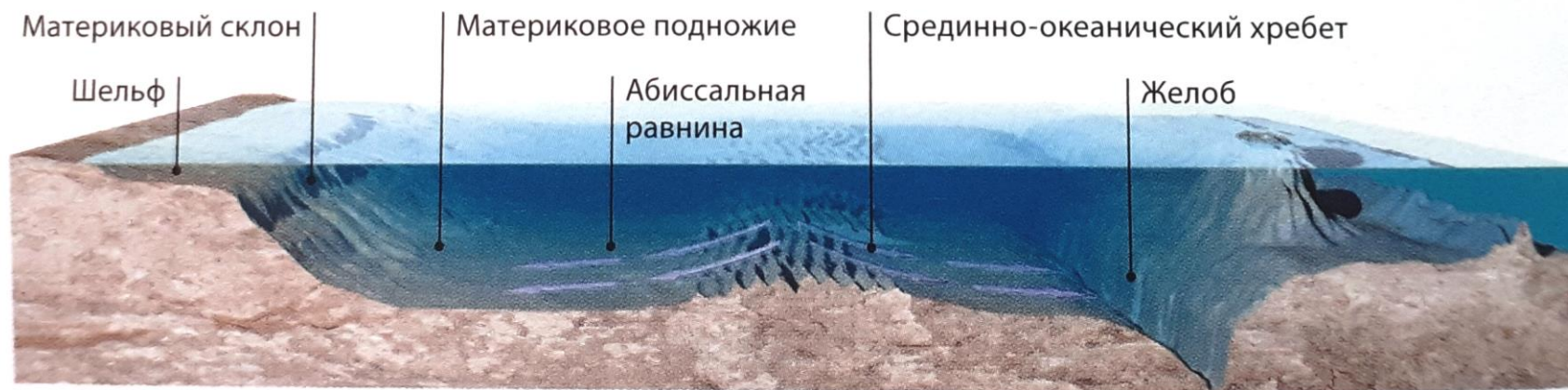


## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЛЬЕФА ДНА ОКЕАНА (МОРФОЛОГИЯ ДНА ОКЕАНА)

Средняя глубина Мирового океана 3800 м.

Однако площадь дна, где глубина близка к 3800 м, относительно мала. Намного чаще в океане встречаются другие глубины – абиссальные равнины глубиной около 6000 м и малые глубины вблизи побережий (обычно не более 200 м).

### Основные формы рельефа дна океана:



- 1) Шельф – подводное продолжение материка. Внешней границей шельфа раньше считалась изобата 200 м, однако теперь внешней границей считается линия перехода к материковому склону. Средний уклон шельфа – около  $0^{\circ}07'$ . Доля площади шельфа в общей площади дна Мирового океана – около 7%. Ширина шельфа сильно разнится в разных районах океана. Наиболее широкий шельф – в районе Баренцева моря (до 1100 км), Канадского архипелага (около 1400 км), наиболее узкий – в Тихом океане у берегов Южной Америки (всего около 20 км).
- 2) Материковый склон – переход от шельфа к материковому подножию. Средний уклон – около  $3^{\circ}27'$ , хотя иногда встречаются и наклоны до  $60-70^{\circ}$ . Внешняя граница материкового склона чаще всего имеет глубины около 3,5 км. Рельеф материкового склона, как правило, довольно сложный, с множеством каньонов.

- 3) Материковое подножие – площади дна с меняющимся уклоном (уклон уменьшается в сторону открытого океана).
- 4) Ложе океана – абиссальные равнины, основная форма рельефа глубоководных котловин. Средние глубины – около 6 км. Дно абиссальных котловин в среднем практически плоское (уклон – сотые доли градуса), хотя часто имеются холмы и дюны. В океане выделяют около 100 глубоководных котловин, их общая площадь – около 50% площади дна Мирового океана.
- 5) Срединно-океанические хребты. Их высота над дном котловин в среднем – около 1,5 км. Общая протяженность срединно-океанических хребтов – около 60 000 км. Иногда срединно-океанические хребты выходят на поверхность (Исландия, Азорские острова, о.Пасхи и др.).

Иногда в океане встречаются подводные горы, часть которых почти достигает поверхности. Весьма известные – гора Кобб вблизи берегов Северной Америки (глубина ее вершины – всего 33 м при высоте горы около 2800м), гора Ампер (глубина вершины около 50-60 м) и гора Жозефина (110 м) в Атлантике (примерно в 400 милях от Гибралтара).

- 6) Глубоководные желоба – глубокие узкие разломы в дне океана, обычно окаймляющие островные дуги. Средняя ширина желобов – около 100 км, средняя длина – около 1000 км. Наибольшее количество желобов расположено в Тихом океане. Все желоба с глубиной более 10 км расположены в Тихом океане (следует иметь в виду, что имеются расхождения в данных о глубине некоторых желобов).

*Наиболее глубокие желоба Мирового океана:*

Марианский – наибольшая глубина 11022 м

Тонга – 10882 м

Филиппинский – 10265 м

Кермадек – 10047 м

Зондский – 7209 м (Индийский океан)

Пуэрто-Рико – 8742 м (Атлантический океан).

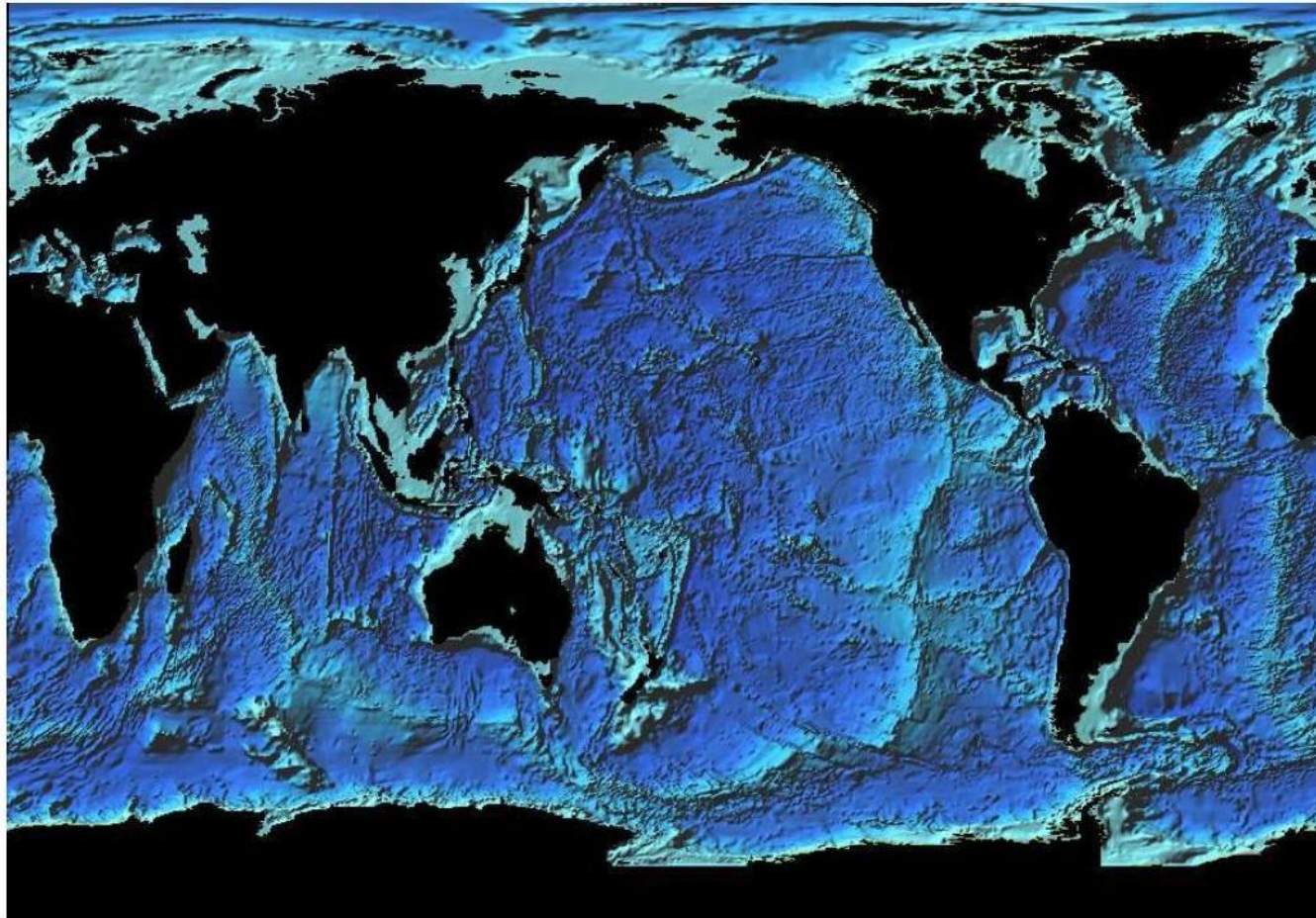
Южно-Сандвичев – 8264 м (второй по глубине в Атлантике и наиболее глубокий в Южном океане).

В Северном Ледовитом океане глубоководных желобов нет, его максимальная глубина 5527 м (в Гренландском море, западнее Шпицбергена в районе пролива Фрама).

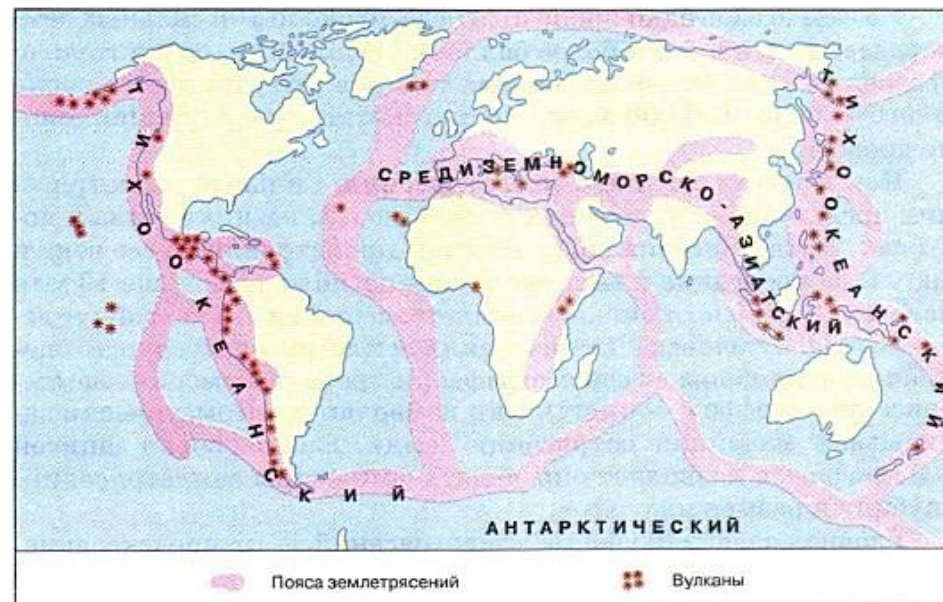
Всего в Мировом океане около 30 глубоководных желобов, их них около 20 в Тихом океане.

Помимо глубоководных желобов, большую глубину имеют некоторые трансформные разломы срединно-океанических хребтов, например, разлом Романш (7856 м) и разлом Вима (5210 м) в Атлантике, играющие большую роль в придонном водообмене между западной и восточной Атлантикой.

### Топография океанического дна



Глубоководные желоба обычно приурочены к островным дугам, на которых наблюдается активная вулканическая деятельность (62% вулканов расположены на островных дугах Тихого океана, образуя «огненное кольцо» Тихого океана, 18% - в Альпийско-Индонезийском поясе, называемом также Средиземноморско-Азиатским).



## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ГЕНЕЗИСА ГИПОТЕЗЫ ТЕКТОНИКИ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ**

Представление о рельефе и формировании дна Мирового океана претерпели революционные представления в 1960-е годы, когда сформировалась гипотеза тектоники литосферных плит.

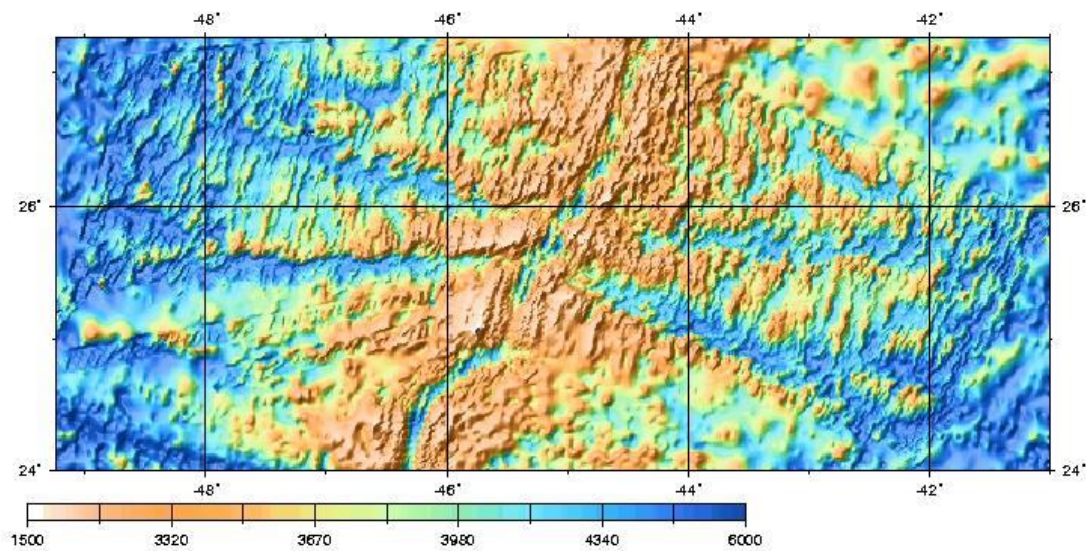
Исследования в океанологии и геофизике океана активизировались в конце 1940-х и в 1950-х годах, когда было создано новое поколение океанологических и геофизических приборов. Это позволило обнаружить новые данные об океаническом дне и в результате привело в 1960-е годы к появлению принципиально нового взгляда на процессы, определяющие эволюцию и существование дна Мирового океана во взаимосвязи с материками, т.е. фактически на геологическую историю Земли. Эта новая теория, в которой нашли отражение идеи Вегенера, получила название гипотезы тектоники литосферных плит.

Основные факты, способствовавшие формированию гипотезы тектоники плит.

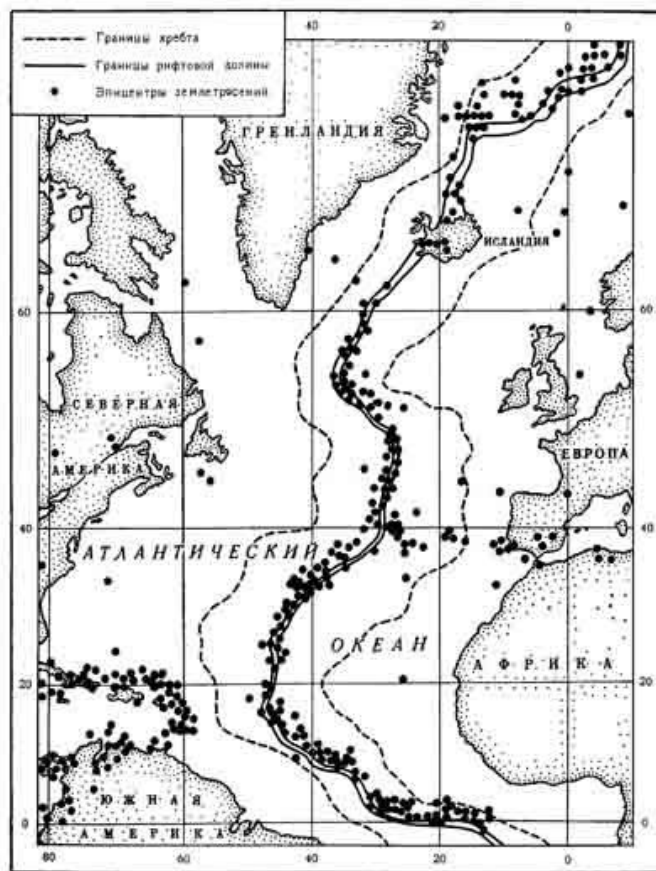
1. В конце 1940-х годов Г.Хесс обнаружил, что возраст изолированных плосковершинных гор (гайотов) на склонах и в окрестностях срединно-океанических хребтов увеличивается по мере удалению от гребня хребта.
2. В 1950-е годы развернулись активные геофизические исследования срединно-океанических хребтов. Выяснилось, что в долине (понижении) в центре хребта наблюдаются активные геофизические процессы, связанные с вулканизмом, обнаружены следы магмы, повышенный тепловой поток от дна и др. особенности. Это привело Б.Хизена к идее о том, что долина в центре срединно-океанических хребтов является рифтовой, т.е. представляет собой трещину в земной коре.



Профиль Срединно-Атлантического хребта



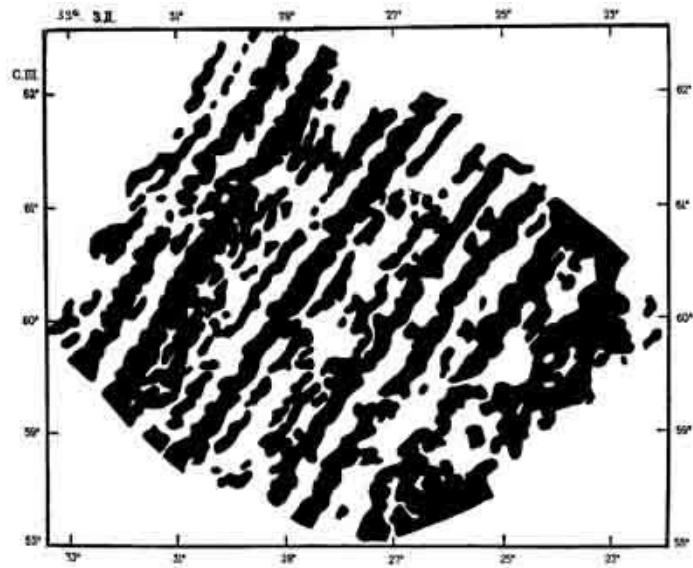
Топография участка срединно-океанического хребта



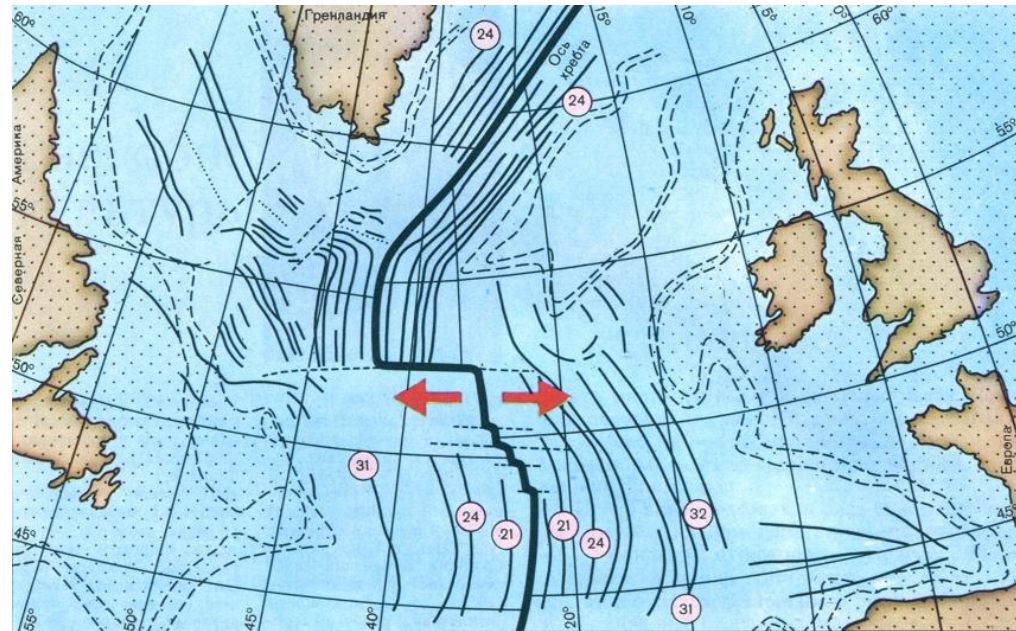
Срединно-Атлантический хребет

*Вулканическая деятельность в Атлантическом океане*

3. В 1958-61 гг. были обнаружены «зебры магнитных аномалий», почти параллельных оси (гребню) срединно-океанических хребтов. Ширина полос – в среднем около 40 км, протяженность – сотни и тысячи километров. Намагниченность пород в соседних полосах оказалась противоположной, а сама система полос («зебра») – симметричной относительно оси (гребня) хребта.



Полосчатые магнитные аномалии над рифтом Срединно-Атлантического хребта

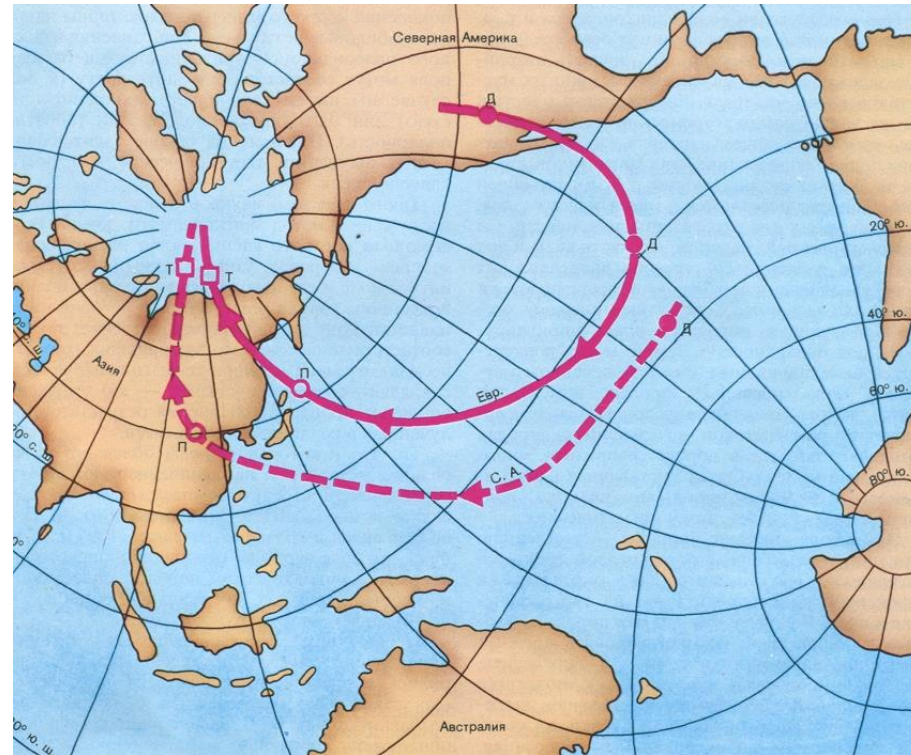


4. К началу 1960-х гг. Ч.Дрейк обнаружил по окраинам материков глубокие прогибы земной коры, обрамляющие материки. Там же были найдены многочисленные аномалии силы тяжести, интрузии. Зоны прогибов оказались почти совпадающими с районами глубоководных желобов и частых землетрясений.

Перечисленные открытия заставили вспомнить идеи Вегенера (мобилизм) и заново обратиться к его работам. Однако единого объяснения все обнаруженные факты еще не получили.

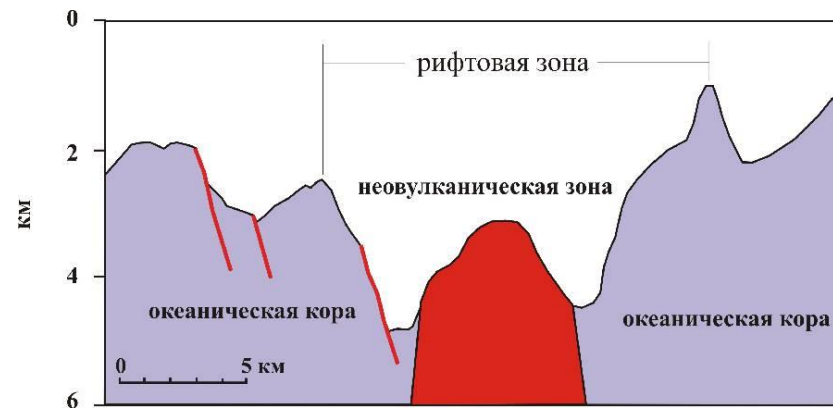
5. Ключевой работой для формирования гипотезы тектоники литосферных плит стала работа Ф.Вайна и Д.Мэттьюза 1963 года, в которой они высказали догадку о происхождении «зебры» магнитных аномалий и фактически дали ключ к объяснению всех других вышеперечисленных фактов. Вайн и Мэттьюз обратили внимание на то, что магнитные полюса Земли мигрируют, причем периодически (раз в миллионы лет) меняются местами, изменяя полярность магнитного поля Земли на противоположную.



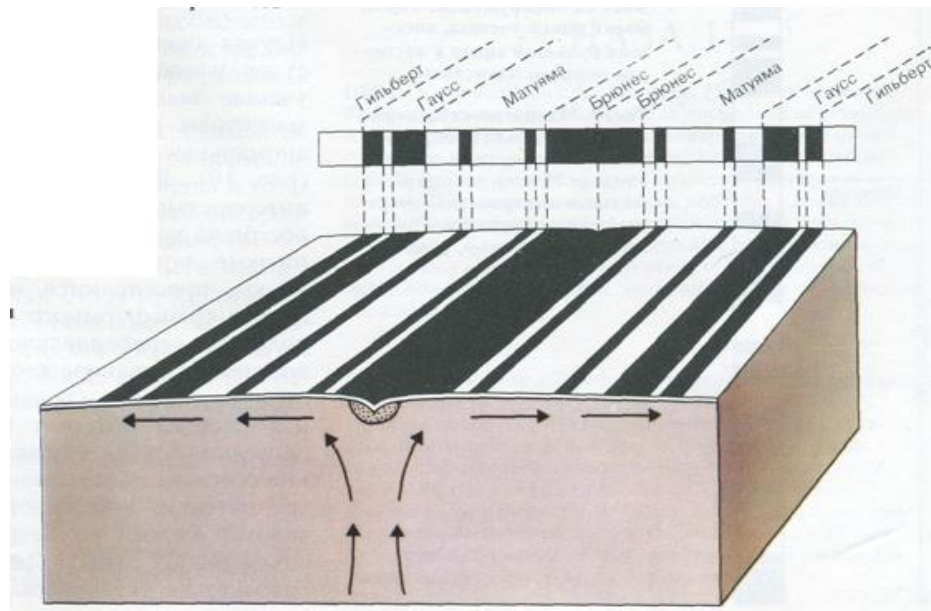


*Предполагаемая траектория движения Северного полюса (по данным двух разных групп исследователей)*

Основная гипотеза Вайна и Мэттьюза состояла в том, что в рифтовых долинах океана происходит рождение земной коры, и направление силовых линий магнитного поля Земли определяет намагниченность этого участка земной коры, как бы помечая время его рождения (процесс рождения новой литосферной плиты получил название аккреции, или тектонической аккреции). Далее океаническая земная кора, рождающаяся в зоне рифтовой долины, формирует океаническую литосферную плиту (толщина плит – порядка 100 км), которая начинает двигаться от центра хребта к его окраинам (т.е. к материкам), как бы опускаясь по склонам срединно-океанического хребта. Этот процесс получил название спрединга дна океана.



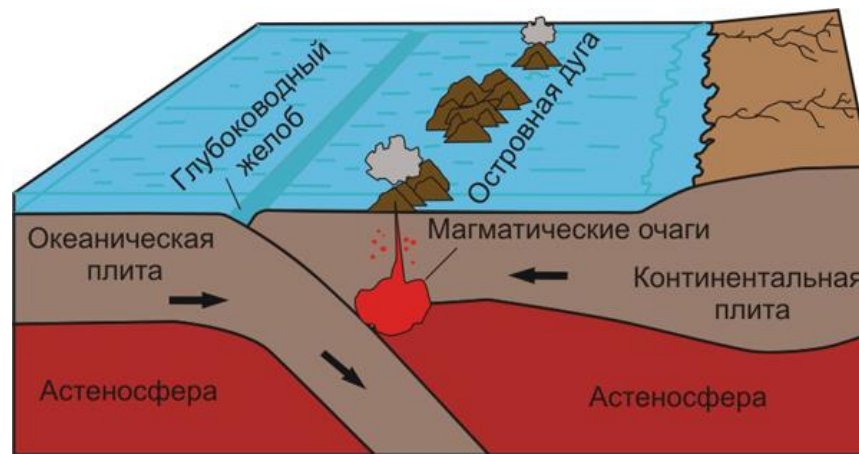
*Рифтовая долина – зона аккреции*



*Формирование «зебры» магнитных аномалий в рифтовой долине в процессе аккреции и последующего спрединга дна океана*

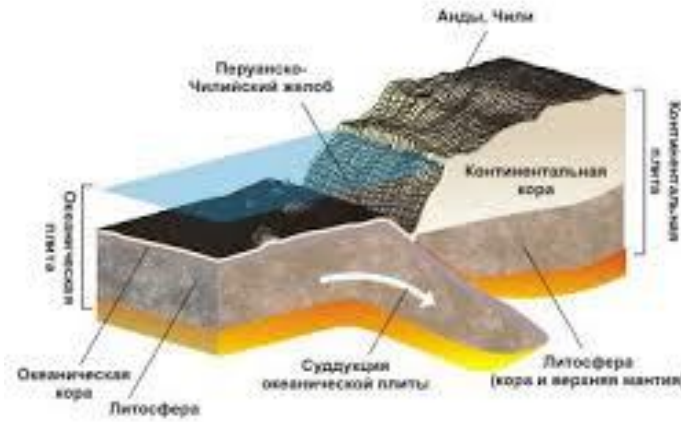
Скорости спрединга в окрестностях разных срединно-океанических хребтов сильно разнятся. Наибольшие достигают 12-16 см в год («высокоспрединговые» хребты), наименьшие – миллиметры в год («низкоспрединговые» хребты). Пример высокоспредингового хребта – Восточно-Тихоокеанское поднятие.

- б. Важный вопрос, остававшийся без прямого ответа после работы Вайна и Мэттьюза, состоял в том, куда девается океаническая кора, родившаяся в рифтовой долине и движущаяся от срединно-океанического хребта по направлению к материкам. Одна из гипотез состояла в том, что радиус Земли в результате этого процесса увеличивается, однако обнаруженные скорости спрединга этого в полной мере не объясняли. Объяснение этому нашли в результатах работ Дрейка, который обнаружил глубокие прогибы земной коры, обрамляющие материки и являющиеся зонами интенсивных и частых землетрясений (фокусы землетрясений в этих районах столь многочисленны, что формируют т.н. сейсмофокальные поверхности – т.н. «зоны Бенъофа»). К этим прогибам приурочены и глубоководные желоба. Это позволило прийти к выводу, что относительно тяжелые базальтовые океанические литосферные плиты погружаются в этих зонах под более легкие гранитно-гнейсовые материковые плиты, т.е. наблюдается поддвиг океанических плит под материковые, что сопровождается землетрясениями. Этот процесс назвали субдукцией.

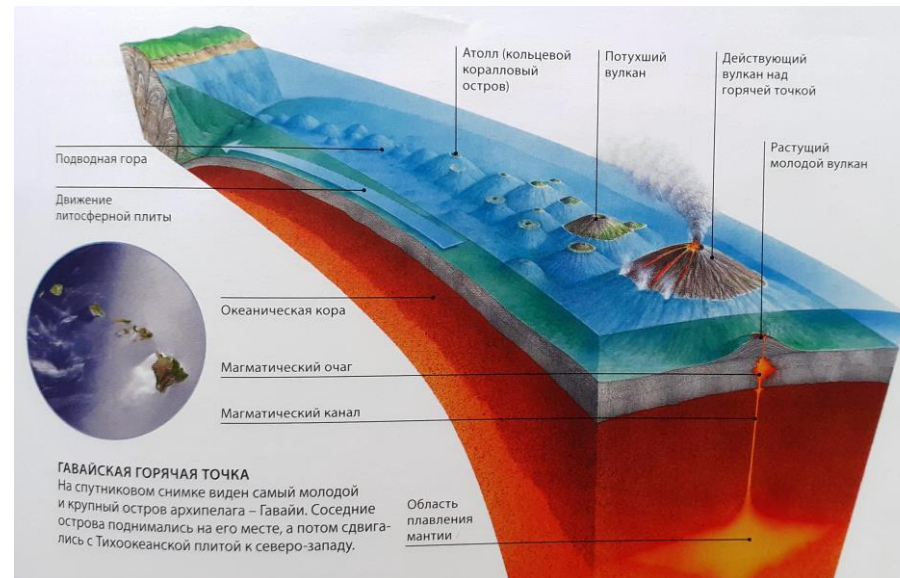


Общая схема субдукции

### Столкновение океана с континентом



### Субдукция у тихоокеанских берегов Южной Америки



Формирование островной цепи в результате аккреции и спрединга, субдукция океанической плиты

Далее, погружаясь вглубь Земли, океанические литосферные плиты разрушаются, плавятся и тем самым обеспечивают материалом дальнейший процесс аккреции новых плит.

Исследования показали, что в общей сложности можно выделить 8-10 литосферных плит (Ксавье Ле Пишон, 1960-е гг.).



*Литосферные плиты Земли*

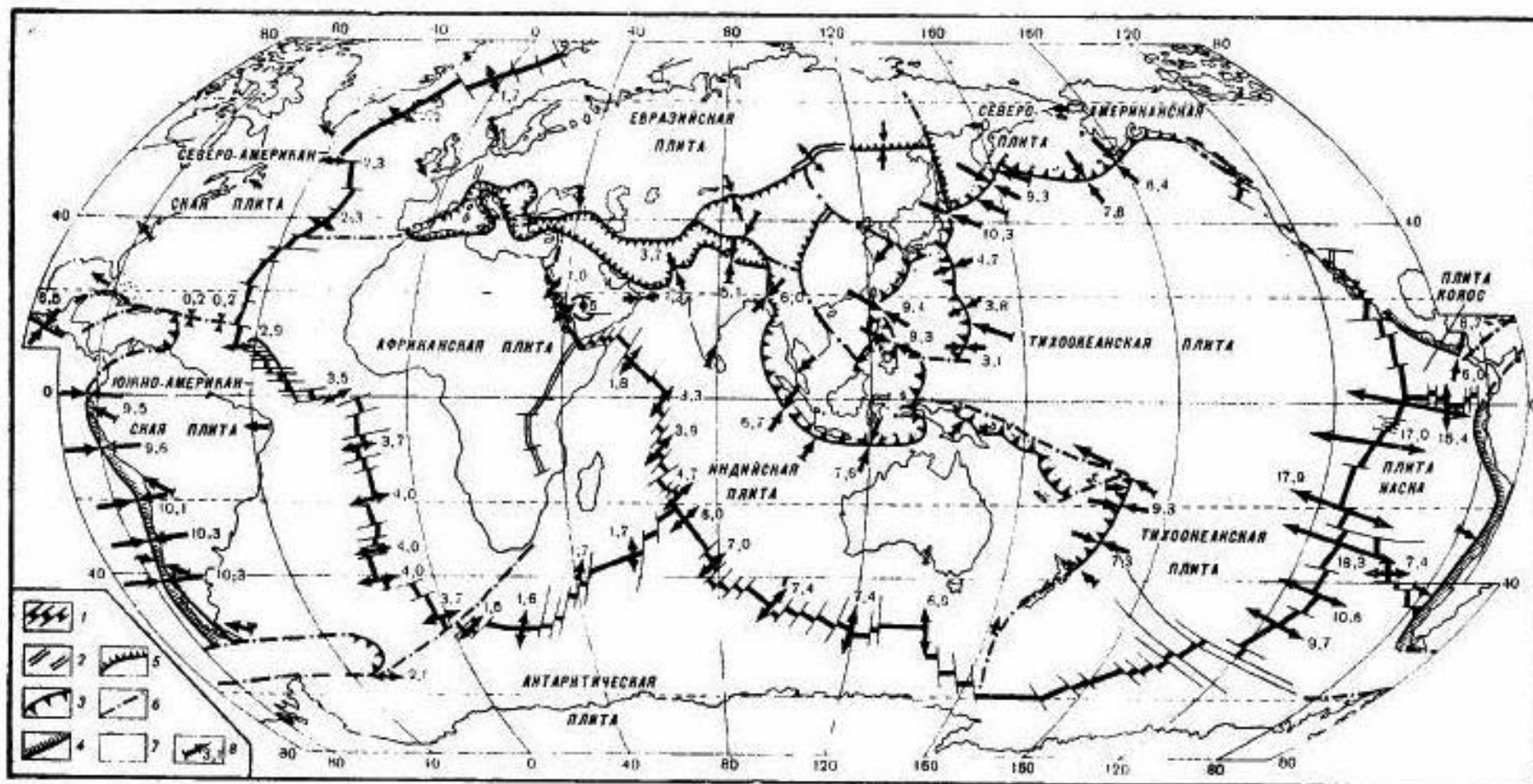
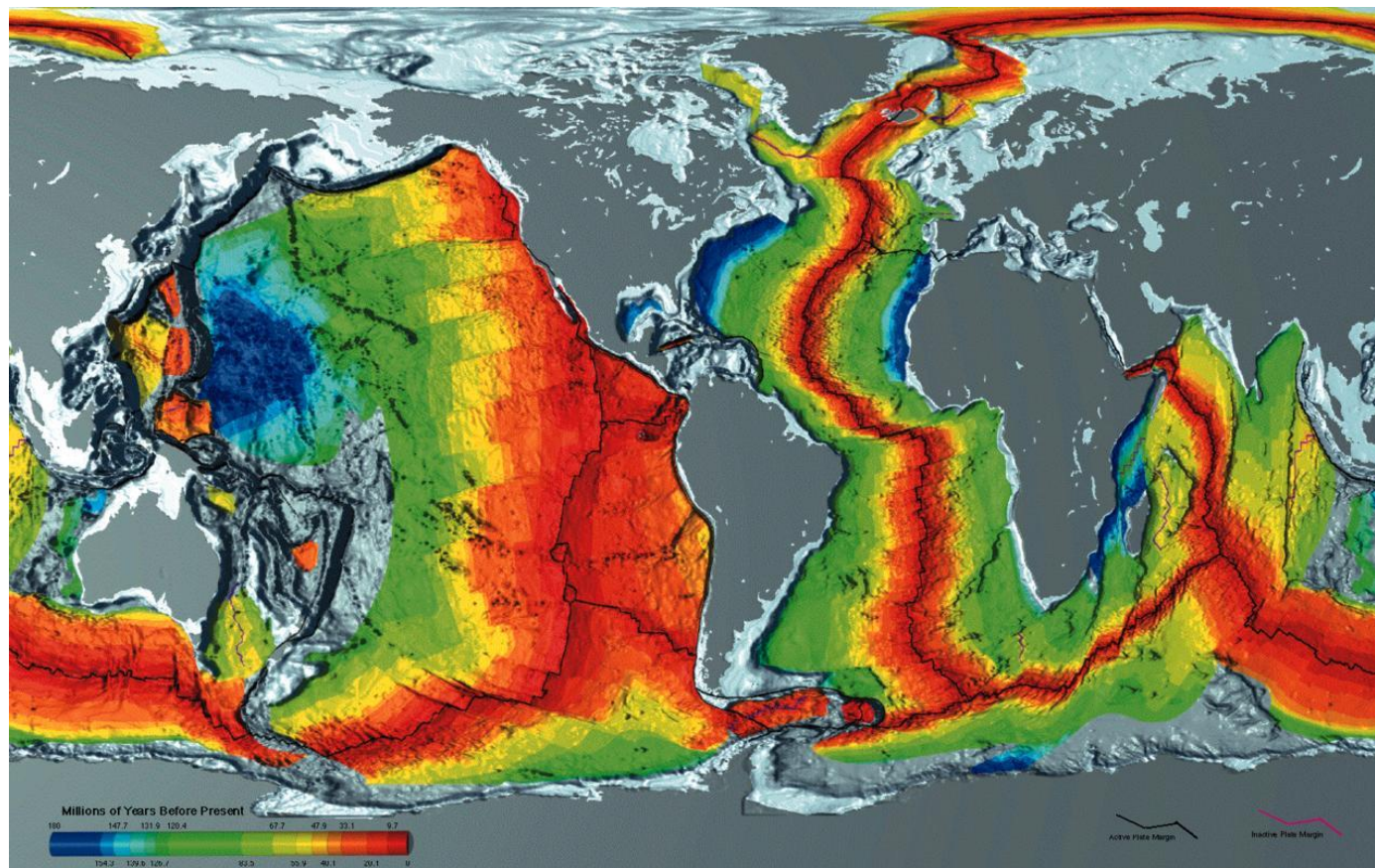


Рис. 7.3. Карта литосферных плит и скорости их взаимных перемещений (Галушкин, Ушаков, 1978): 1 – океанические рифтовые зоны и трансформные разломы; 2 – континентальные рифтовые зоны; 3 – зоны поддвига океанических литосферных плит под островные дуги; 4 – то же, под активные окраины континентов андийского типа; 5 – зоны “столкновения” (коллизии) континентальных плит; 6 – трансформные (сдвиговые) границы плит; 7 – литосферные плиты; 8 – направления и скорости (см/год) относительного движения плит

Карта литосферных плит с указанием трансформных разломов, направлений и скоростей спрединга (в см/год)

Прямое экспериментальное подтверждение гипотезы тектоники плит было в значительной степени получено путем глубоководного бурения со специально созданного во второй половине 1960-х годов судна “Glomar Challenger” (США). До 1971 года было пробурено более 600 скважин. Образцы, полученные в результате бурения, показали, что возраст океанических плит (он не превышает 150-180 млн. лет) возрастает по мере удаления от срединно-океанических хребтов, причем он намного меньше, чем возраст материковых плит, составляющий 1,5 – 3,5 млрд. лет.



*Возраст океанической коры: самая молодая (обозначена красным) – вдоль центров спрединга*

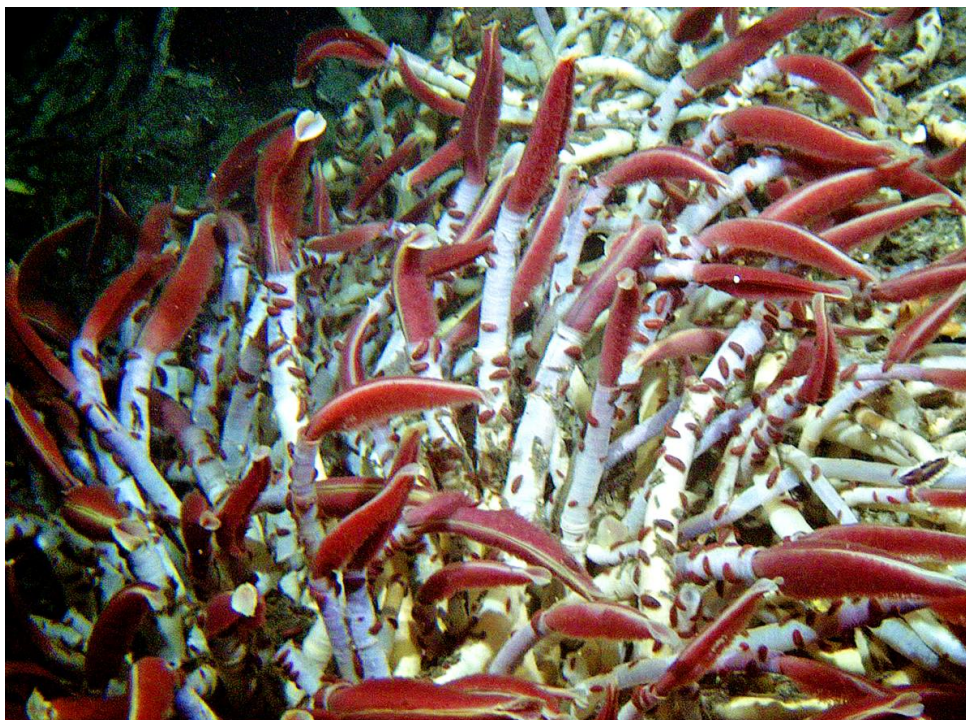
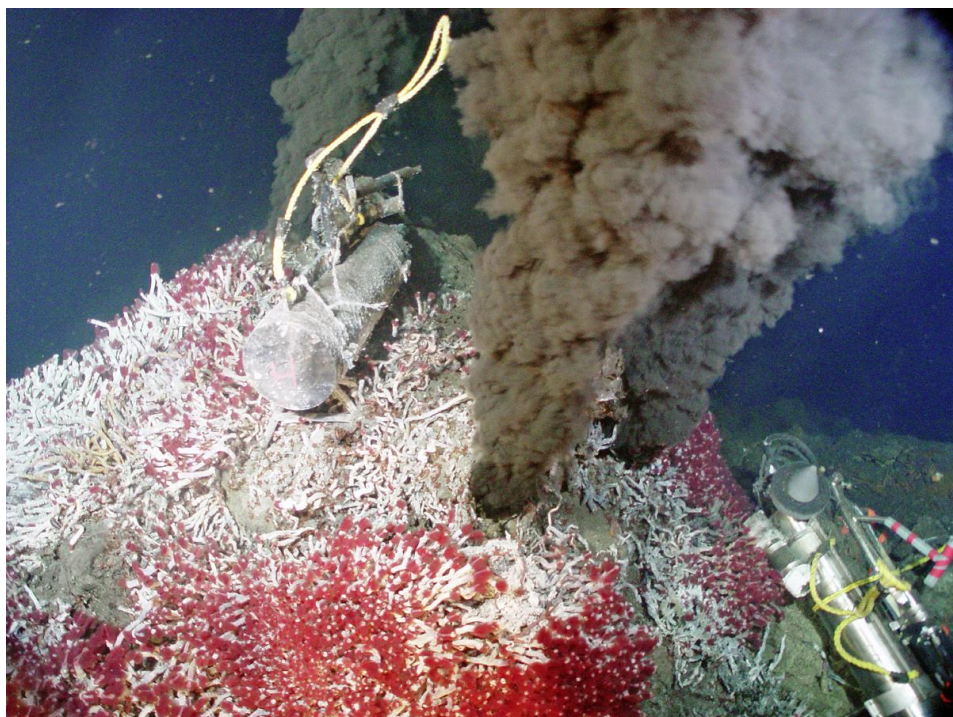
Срединно-океанический хребет обычно сильно расчленен поперечными разломами («трансформными»), среди которых одним из наиболее глубоких является упомянутый выше разлом Романш. Мелкие трещины называются гьярами.

Интересное явление в рифтовых долинах, на склонах океанических хребтов и островных дуг – гидротермальные источники (**гидротермы**) на дне океана (их называют также черными или белыми курильщиками в зависимости от цвета флюида). Истекающая из этих подводных источников жидкость (гидротермальный флюид) может достигать высокой температуры (известны гидротермы с температурой до 420°C). В окрестности гидротермов, несмотря на полную темноту (и, соответственно, невозможность фотосинтеза), обнаружены развитые экосистемы («оазисы» животного мира), большая биомасса которых не может сформироваться только за счет поступления детрита с поверхности океана. Это означает, что основой для формирования жизни в гидротермальных сообществах служит не фотосинтез на поверхности. Было обнаружено, что жизнь вокруг гидротермов формируется на основе хемосинтеза (т.е. источником энергии является не солнечный свет, а энергия химических реакций). Другими словами, на дне океана существует жизнь на совершенно другой основе. Интересно, что, несмотря на полную темноту на больших глубинах, многие животные в экосистемах гидротермов ярко окрашены, что опровергло традиционное представление биологов об отсутствии пигментации животных в афотических зонах. Фауна гидротермов была случайно обнаружена геофизиком Дженкинсом в середине 1970-х гг. во время погружения на подводном аппарате «Алвин» в районе Галапагосского рифта на глубинах около 2,5 км, систематические исследования начались на подводных аппаратах во второй половине 1970-х (Баллард и др.).

Курильщики могут существовать десятки лет, формируя постройки в виде башен из осадочного материала флюида. В некоторых случаях было обнаружено, что материал этих построек является горючим. В химическом составе гидротермальных флюидов, как правило, преобладают соединения серы.

Некоторым сообществам животных, сформировавшимся вокруг гидротермов, присвоены названия («Райский сад», «Мидиевая банка» и т.п.).





*Черный курильщик и животные вокруг него*

