

Геология океанов и морей

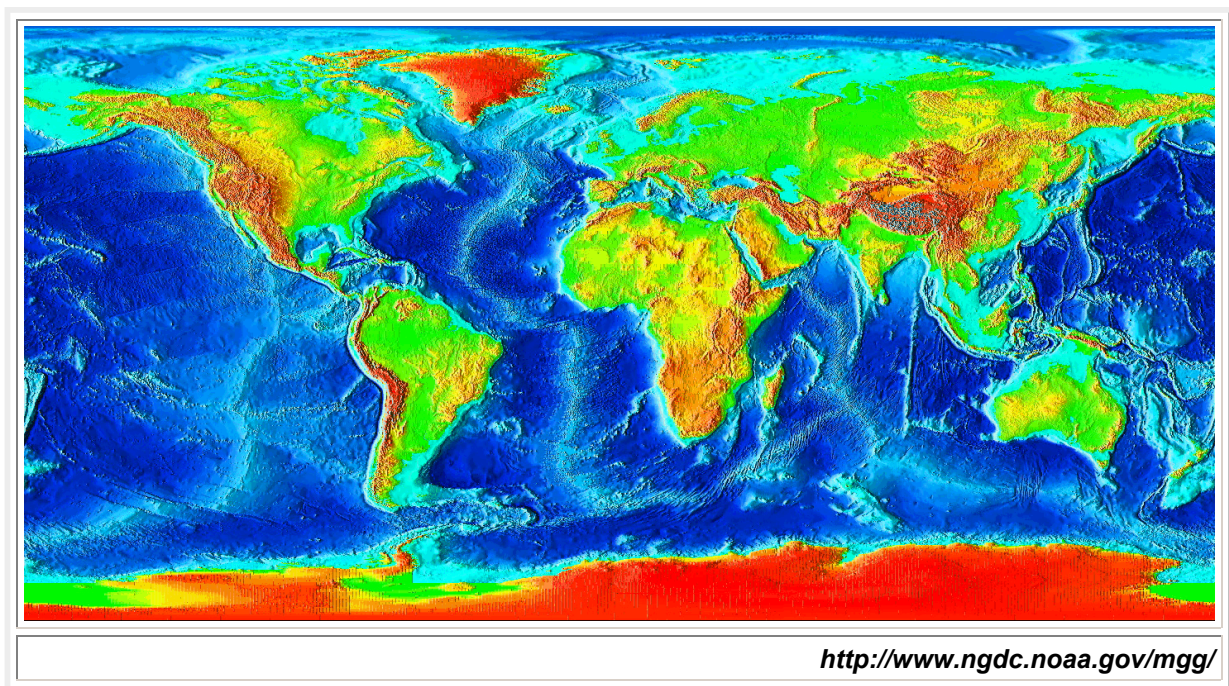


Мировой океан. Основные элементы строения. История исследования и становление основных идей геологии. Техника и методы исследования. Топонимика.

Лекция 1 (февраль 2005)

Мировой океан. Основные элементы строения. Типы коры.

Мировой океан занимает более 70% территории Земли. Общепринято, что он состоит из Тихого, Индийского, Атлантического и Северно-Ледовитого океанов. Иногда выделяют Южный океан, который омывает Антарктиду. В целом – это огромная впадина планетарного масштаба со сложным рельефом, которая заполнена соленой водой и имеет кору океанического типа с редкими континентальными фрагментами (например, в Атлантическом океане – плато Роккол, банка Флемиш-Кап). Основное пространство дна Мирового океана с преобладающими глубинами более 3000 м, простирающееся от подводной окраины материка в глубь океана называют ложем океана. Это - очень крупная, одного порядка с материками, отрицательная форма рельефа планеты.



Основные характеристики океанической коры

- мощность 5-10 км
- **слой 2** (осадочный) - скорости 3.5-6.2 км/с
- **слой 3** (базальтовый) - скорости 6.5-7.0 км/с
- граница перескока с 7 на 8 км/с - граница Мохоровичича (граница М)
- **слой 4** - скорости 8.0-8.2 км/с

В морской геологии часто применяются единицы измерения, которые отличны от метрических. В связи с этим приводим их соотношения (таблица)

Некоторые единицы измерения

Мера англ.	Мера англ. на русск. языке	Метрический эквивалент
1 Inch	дюйм	2.54 см
1 Foot	фут	0.3048 м
1 Mile (nm)	миля морская, США	1.852 км
1 Fathom	фатом	1.828 м
1 Knot	узел (1 морская миля в час)	1.852 км/час=0,5144 м/с

Идеализированный фоторазрез океанической коры



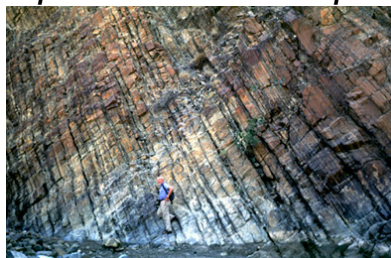
осадочные породы
(известняки, остров Маю, фото Мазаровича А.О.)



базальты
<http://www.dstu.univ-montp2.fr/>



комплекс параллельных даек
<http://www.dstu.univ-montp2.fr/>

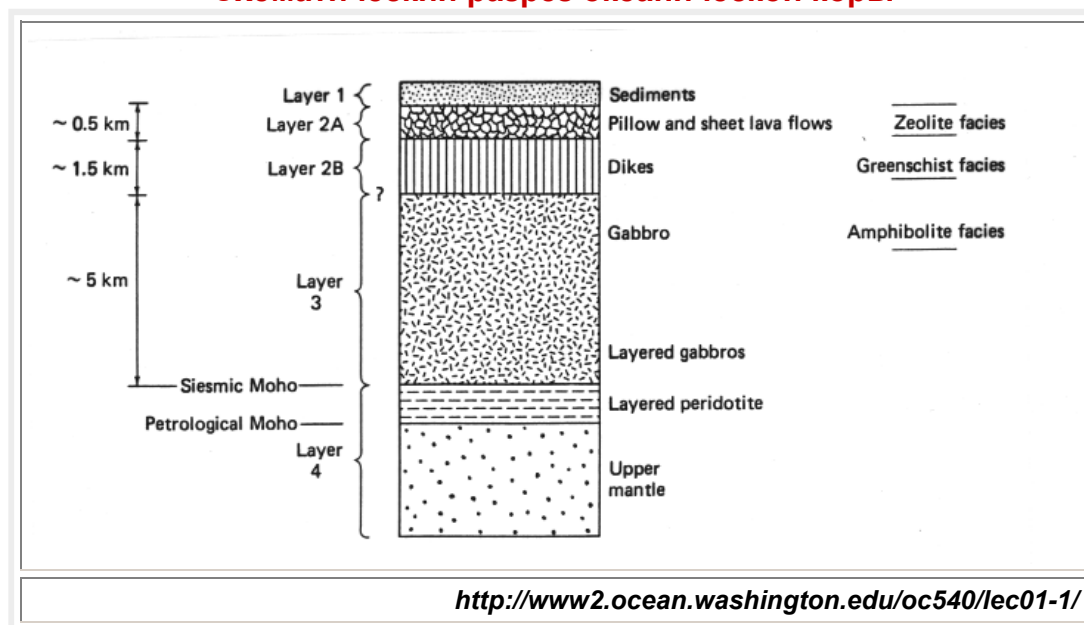


габбро и полосчатое габбро
<http://www.dstu.univ-montp2.fr/>



ультраосновные породы
<http://www.dstu.univ-montp2.fr/>

Схематический разрез океанической коры



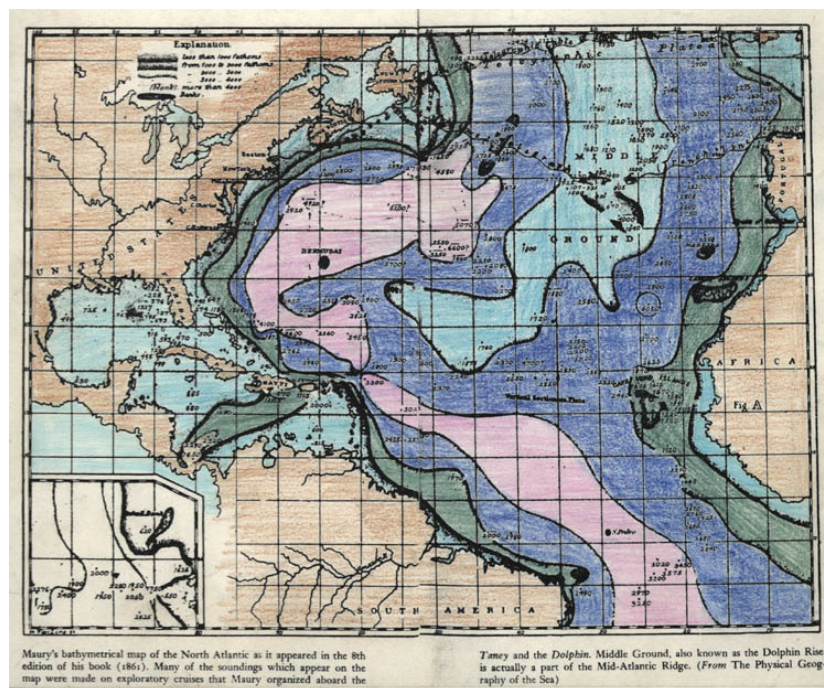
Моменты истории исследования Мирового океана и становление основ современной теоретической геологии

Основы знания о строении дна Мирового океана были заложены в Атлантическом океане, который, в силу своего географического положения, представлял наибольший практический (экономический, военный) интерес для жителей Старого и Нового Света. Для геологов Атлантики, включая обрамление, с точки зрения автора этого курса лекций, должна рассматриваться как "колыбель" геологии Земли.

В **1852** году начались работы весьма далекие от тектонических гипотез - промеры глубин для прокладки трансатлантического телеграфного кабеля. Через два года лейтенант Мэтью Фонтейн Мори, возглавлявший в то время "Депо карт и приборов ВМФ США" (позже - "Военно-морской океанографический офис"), сообщил Министру Военно-морского флота о том, что дно океана между Ирландией и Ньюфаундлендом представляет собой подводное плато (Bates et al., 1982), названное впоследствии Телеграфным. По всей видимости, упомянутые данные, можно считать первыми сведениями о подводной возвышенности, именуемой ныне как Срединно-Атлантический хребет.

В **1855** году автор докладной записки составил первую батиметрическую карту Северной Атлантики.

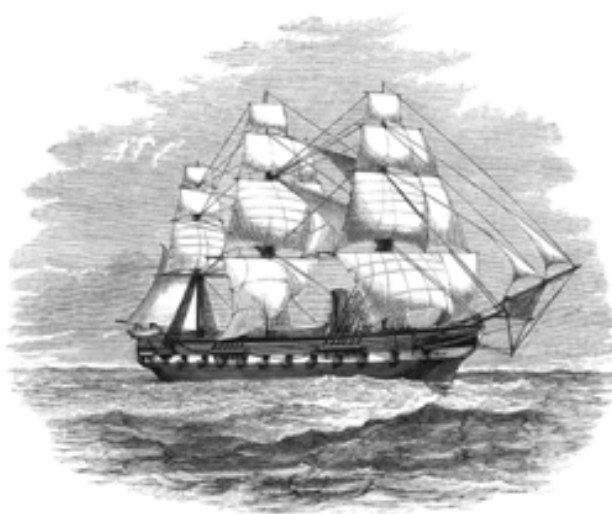
Первая карта Северной Атлантики М. Мори. 1855 г.



<http://www.earthinstitute.columbia.edu/library/>

В **1872** году начались обстоятельные исследования океана на судне "Челленджер" (1872-1876 гг.), на борту которого работал, помимо других специалистов, английский океанограф Джон Меррей. Данные рейса, дополненные некоторыми другими, послужили основой для создания (**1885** г.) новой батиметрической карты Атлантического океана (Джеймс, Мартин, 1988), на которой стали проступать контуры поднятия, протягивающегося с севера на юг, примерно по его середине (Срединно-Атлантический хребет). Во время рейса "Челленджера", помимо важных гидрографических наблюдений, измерений глубин дна, была отобрана коллекция горных пород с океанических островов.

Британский корвет "Челленджер"



<http://europa.soc.soton.ac.uk:8080/BOSCOR/history.htm>

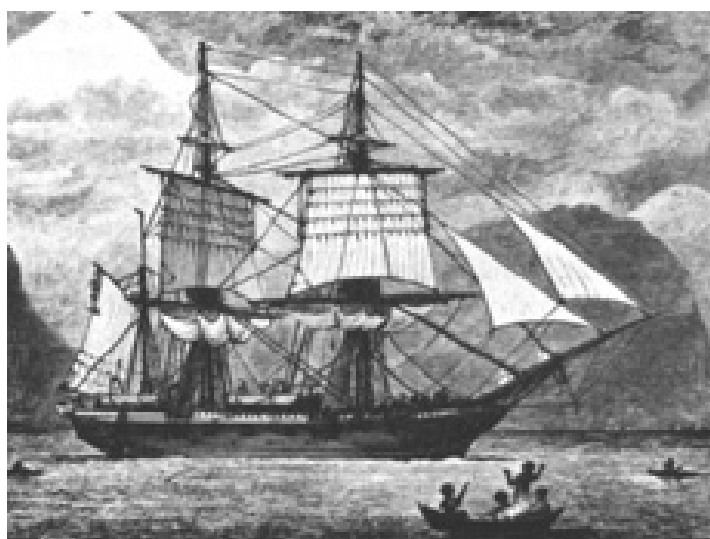
В конце XIX века подводная топография Атлантики представлялась следующим образом:

"Дно Атлантического океана открывается состоящим из двух параллельных долин, имеющих в общем направление с севера на юг и разделенных на глубине 1660-1830 м широкой плоской возвышенностью, как бы плоскогорьем, на котором расположены почти исключительно вулканические острова. Этот подводный хребет распознан и прослежен довольно полно и подробно" (Энциклопедический..., 1890).

Это географическое открытие стало привлекать в первой четверти XX века внимание геологов и положило начало длительной дискуссии о его природе

По всей видимости одной из первых работ в области тектоники Атлантического океана можно считать дневник Ч. Дарвина (Дарвин, 1909), о путешествии на барке "Бигль" (1831-1836 гг.).

Барк "Бигль"



<http://www.geo.cornell.edu/geology/GalapagosWWW/>

Он отметил различие в происхождении островов, расположенных в пределах Атлантики и подчеркивал, что скалы Святого Павла имеют невулканическое происхождение.

Скалы Святого Павла (экваториальная Атлантика)



Фото - С.Ю.Соколова

Было сделано следующее обобщение: "Замечательно, что маленькие острова, находящиеся на большом расстоянии от материка в ... Атлантическом и Индийском океанах, за исключением Сейшельских островов и небольшого скалистого острова Св. Павла состоят из вулканических пород. Вулканическая природа островов океана является, очевидно, распространением того же закона, в силу которого большинство ныне действующих вулканов расположено вблизи берегов моря или на островах вблизи его" (Дарвин, 1909, стр.9). На основании наблюдений на острове Сантьягу Ч. Дарвин высказал также мысль, которая не потеряла своей актуальности и до настоящего времени, о чрезвычайно важной роли вертикальных движений в истории Островов Зеленого Мыса, которые он изучал в бухте Прая.

Бухта Прая. В центре - остров Санта-Мария



Фото - Мазаровича А.О.

Во второй половине XIX века началось изучение состава коренных пород и осадков дна Атлантического океана. Эти сведения собирались, как правило, попутно с различными океанографическими исследованиями. В **1839** году был основан Драгировочный комитет при Британской ассоциации развития Науки (The Dredging Committee of the British Association for the Advancement of Science) (Rice, Wilson, 1980). В первом же документе, который издал Комитет, предписывалось при драгировках

проводить сборы не только организмов, но и коллекций грунтов.

Рассуждения о природе рельефа Атлантического океана стали появляться только в начале XX века. За теоретическую основу была взята геосинклинальная теория, которая приспособлялась к океаническим впадинам. Например, Эмиль Ог, профессор Парижского университета, писал: "Громадная впадина с направлением поперечным к складкам, разделяет Старый и Новый Свет и является общей областью погружения для всех пересекающих ее складчатых зон. Эта впадина превратилась теперь в геосинклиналь, и ее ось симметрии уже наметилась в виде срединной складки..." (Ог, 1922, стр.485).

Иную точку зрения высказывали сторонники дрейфа материковых глыб (К.Андре, А.Вегенер)

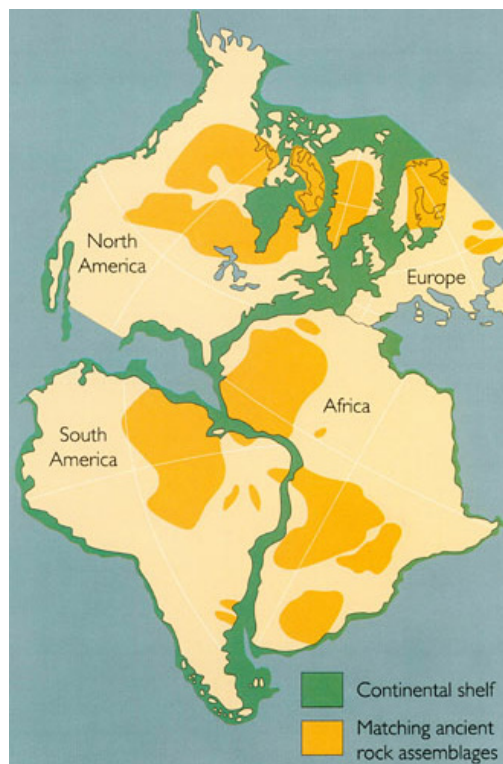
А.Вегенер



<http://pubs.usgs.gov/publications/text/wegener.html>

В частности, Альфред Вегенер, один из основоположников мобилизма, писал о том, что Средне-Атлантический вал "представляет собой во всяком случае остаточный материал после разделения глыб. Можно предположить, что вместо единой трещины в этом месте возникло сетевое переплетение трещин, т.е. целая полоса обломков, большая часть которых погрузилась ниже уровня моря, т.к. подстилающий их субстрат растягивался и сплющивался" (Вегенер, 1984, стр.86). А.Вегенер подчеркивал, что природа вала "представляет собой явление, которому теория дрейфа должна найти объяснение" (Вегенер, 1984, стр.194).

Расположение материков по представлениям А.Вегенера

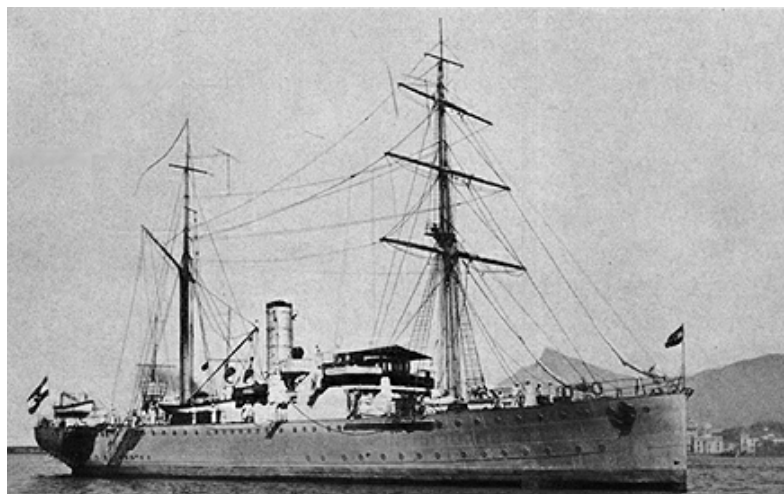


<http://vishnu.glg.nau.edu/people/jhw/GLG101/Tectonics.html>

Германская экспедиция на научно-исследовательском судне "Метеор" (1925-1927)

Занимает выдающееся место в исследованиях Мирового океана

Научно-исследовательское судно "Метеор"



<http://www.marum.de/deutsch/meteoralt.html>

Данные, собранные в ней и дополненные эхолотными промерами судов различных типов, включая военные (например: крейсер "Эмден") легли в основу новой обзорной батиметрической карты Атлантического океана (1:20 млн.) (Stocks, Wust, 1934), в результате работы над которой была создана новая классификация основных форм рельефа, появился обширный список новых географических названий, которые составляют основу современной топонимики Атлантического океана.

Г.Вюст



<http://www.earthinstitute.columbia.edu/library/>

Появление нового материала стимулировало размышления о природе океанов и послужило поводом для проведения целого ряда научных симпозиумов и конференций (например "Атлантическое заседание" во Франкфурте в январе 1939 года). Вместе с тем, в области представлений о геологии Атлантического океана в предвоенное время существенных изменений не произошло. Недостаток геологической информации о коренных породах океана, точнее ее отсутствие, вынуждало тектонистов использовать косвенные данные - сопоставление простираций горных сооружений, общие соображения в рамках геосинклинальной теории, данные о составе пород с океанических островов (Мазарович, 1938, Штилле, 1964, Du Toit, 1939, Friedlander, 1913, Erment, 1936, Nolke, 1939, и др.). Приведенные выше работы показывают, что выводы о тектонике Атлантического океана базировались в основном на общих теоретических представлениях, вытекающих из опыта континентальной геологии. Практически полное отсутствие сведений о вещественном составе пород, неточность, а иногда ошибочность данных о рельефе дна привело к широкому внедрению сравнительно-морфологического метода, прямой экстраполяции линий рельефа материков в океаны и к появлению представлений весьма далеких от истины.

В довоенный период были сделаны крупные шаги в области картографирования дна Атлантического океана - были очерчены контуры срединно-океанического хребта, всех котловин и отдельных поднятий. Вполне определенно сложились два подхода в представлениях о тектонике Атлантики - взгляд на дно как на нечто особенное (выходы симы), не имеющего аналогов на континентах и выводы о полной идентичности структур континентов и океана. Эти представления получили развитие в двух геодинамических концепциях - мобилизме и фиксизме, которые объединялись только в одном - дно Атлантического океана, с тектонической точки зрения, весьма гетерогенно.

До 2-ой Мировой войны начали бурно разрабатываться, а после нее и внедряться, новые технические средства, позволившие резко ускорить изучение дна океана и повысить их надежность (Удинцев, 1959). Произошла замена тросового способа измерения глубин акустическими методами, прежде всего на базе приборов фирм Англии, США и Германии. Значительно улучшились навигационные привязки, стали появляться подводные фото- и телеустановки. В Атлантическом океане начали разворачивать научную работу вновь создаваемые океанологические

центры США - Ламонтская геологическая обсерватория, Океанографический институт в Вудсхоле, а также различные подразделения ВМФ США. В восточной и северной частях Атлантики начались работы океанологов Англии, в меньшей степени Германии, Франции.

Аналогичные исследования начали проводиться и в СССР. В конце 40-х-начале 50-х годов были созданы ПИНРО, НИИГА, а затем и Институт океанологии. Вместе с тем, во взглядах на геологию Мирового океана существенных изменений не произошло.

В 1947 году французским сейсмологом Ж.-П. Роте (Rothe, 1947), была высказана идея, что САХ - это истинная западная граница европейско-африканского блока. "Западнее хребта Атлантический океан имеет такое же строение, как и Тихий, и слой симы не перекрывается здесь кислыми сиалическими или промежуточными по составу породами. Этот же автор через девять лет на Геологическом конгрессе в Лондоне обратил внимание на приуроченность узкого непрерывного сейсмического пояса к гребню САХ.

В течение 50-х годов в советской геологической литературе появилось несколько работ, которые в той или иной степени затрагивали вопросы строения Атлантики, однако они были весьма ограничены по своему объему и основывались на устаревших литературных материалах.

В 1959 году вышла в свет книга "Дно Атлантического океана" (Хейзен и др., 1962), которая сопровождалась физиогеографической картой

Физиографическая карта Б.Хизена и М.Тарп. 1968 (первая версия - 1957)



<http://www.earthinstitute.columbia.edu/library/>

Мэри Тарп



<http://www.earthinstitute.columbia.edu/library/TharpMapping.html>

Это обстоятельное исследование обобщило огромный фактический материал. В книге рассматривались все основные геоморфологические элементы дна океана и делались попытки объяснить их происхождение. САХ рассматривался как часть "системы среднеокеанических хребтов Мирового океана".

Возникновение теории спрединга

Через два года, попытки объяснить строение дна Мирового океана в целом и Атлантики в частности привели Р. Дица (Электронная Лаборатория ВМФ США, Калифорния) в **1961** году к принципиально новым представлениям о развитии океанической литосферы.

"Концепция, выдвигаемая нами, - ее можно назвать теорией раздвигания океанического дна, или теорией спрединга - является в значительной мере интуитивной; она возникла при попытках интерпретировать данные батиметрии океанического дна" (Диц, 1974, стр.26).

В целом, в этой революционной работе были разработаны основы современной геодинамики: понятие о плитах, сделана попытка интерпретации магнитных аномалий как отражение напряжений перпендикулярных движению конвекционного потока, высказана идея о трехслойном строении коры под океанами, рекомендованы к широкому употреблению такие термины как "астеносфера" и "литосфера", введены такие понятия как атлантический и тихоокеанский типы окраин и некоторые другие идеи. Практически все эти направления интенсивно разрабатываются до настоящего времени.

В **1962** году Г.Хесс (Принстонский университет, Нью-Джерси) подробно рассмотрел возможность существования конвекционных ячеек и геодинамические следствия из этого. Автор считал, что под срединно-океаническими хребтами (СОХ) существуют восходящие ветви, под желобами - нисходящие, в следствии чего дно океана обновляется каждые 300 - 400 млн. лет.

Г.Хесс



<http://www.umd.umich.edu/casl/natsci/geology/G218W03/notes/>

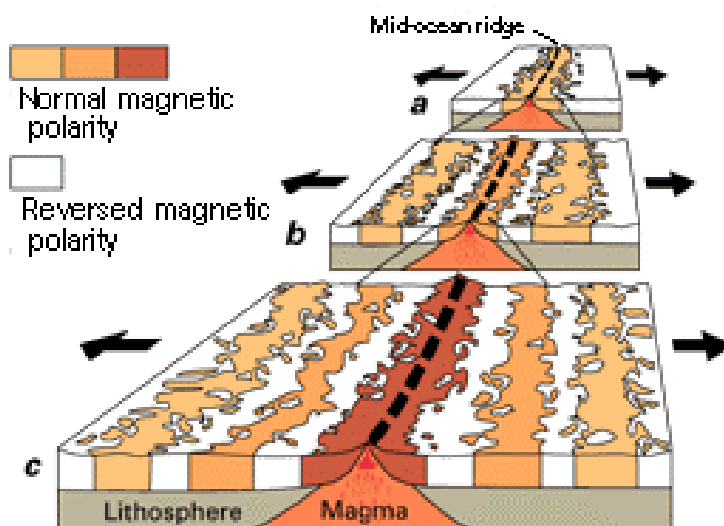
Открытие полосовых магнитных аномалий

В **1963** году сопоставление профилей дна северной части Атлантического океана и аномалий общего магнитного поля привели Ф.Вайна и Д.Метьюза из Кембриджского университета к созданию оригинальной модели, в основе которой было два допущения.

Во-первых "если происходит раздвигание океанического дна, перемещающиеся блоки нормально и обратно намагниченного материала должны двигаться в стороны от океанического хребта и вытягиваться параллельно его гребню" (Вайн, Метьюз, 1974, стр.36).

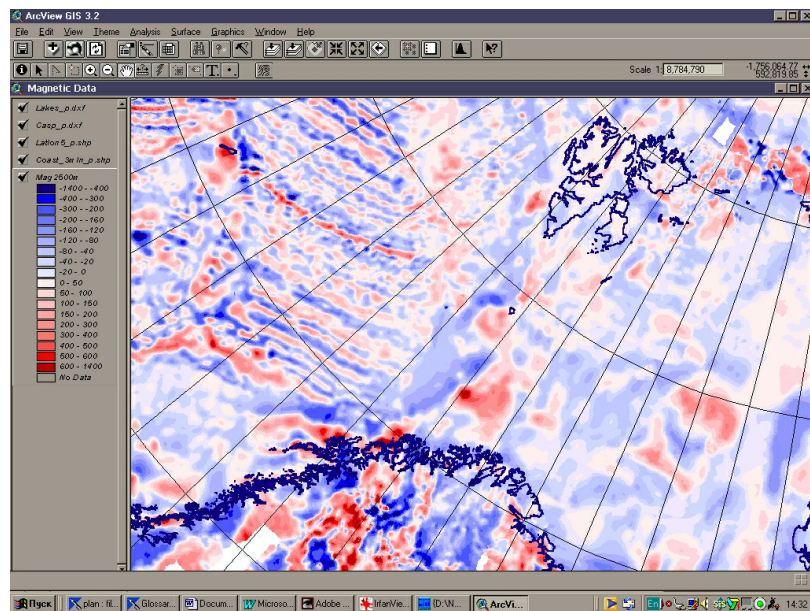
Во-вторых, что во времени происходит периодическое обращение магнитного поля Земли

Магнитные аномалии - принцип образования



<http://www2.ocean.washington.edu/oc540/lec01-1/>

Магнитные аномалии - океанические (запад) и континентальные

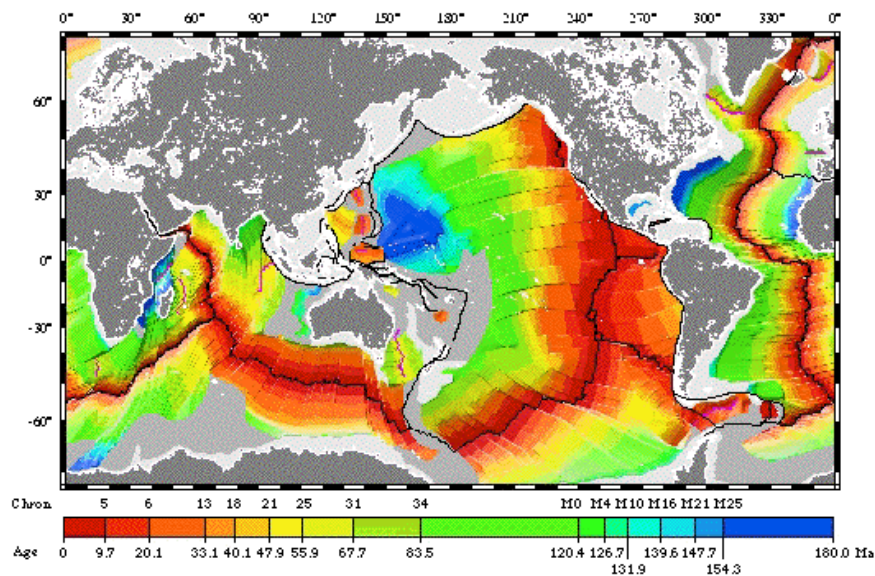


В конце статьи подчеркивалось, что "авторы понимают, что магнитные контрасты океанической коры могут быть объяснены и без учета инверсий магнитного поля Земли, например тем, что океаническая кора состоит из чередующихся блоков очень сильно и очень слабо намагниченного в одном и том же направлении материала" (там же, стр.37). Основные идеи нашли самое широкое применение для объяснения строения и истории Атлантического океана, а также для составления разнообразных геолого-геофизических карт.

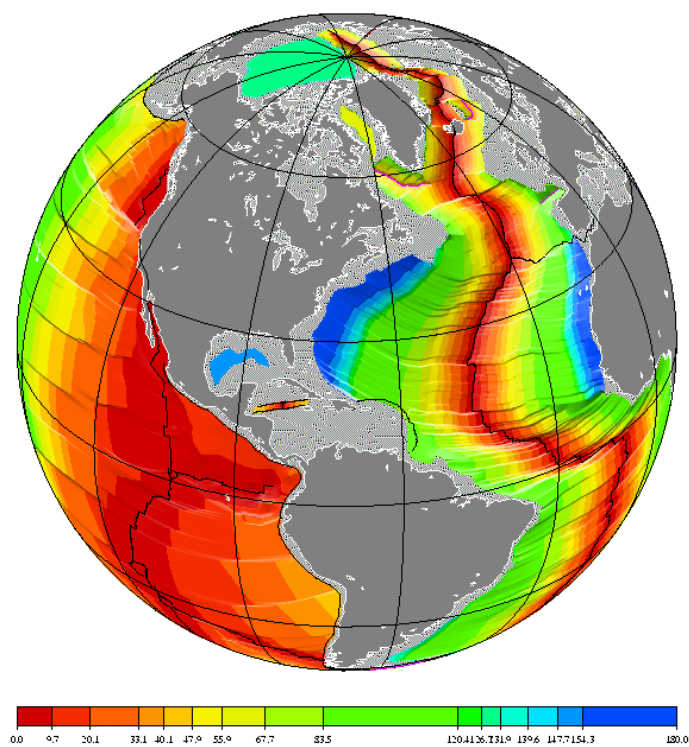
Изохроны океанического ложа

Digital Isochrons of the Ocean Floor

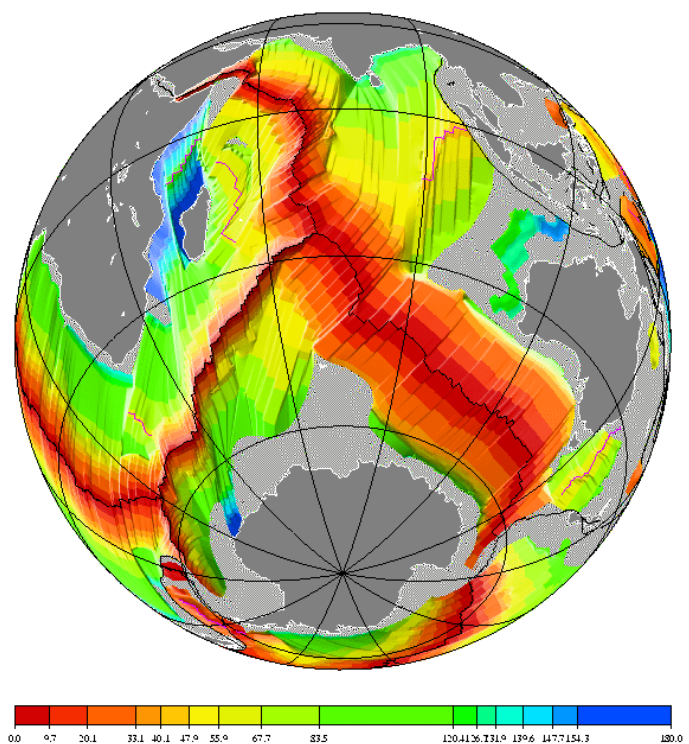
R.D. Müller, W.R. Roest, J.-Y. Royer, L.M. Gahagan, J.G. Sclater



Age of the Ocean Floor



Age of the Ocean Floor



http://www.es.usyd.edu.au/geology/people/staff/dietmar/Agagrid/digit_isochrons.html

Открытие трансформных разломов

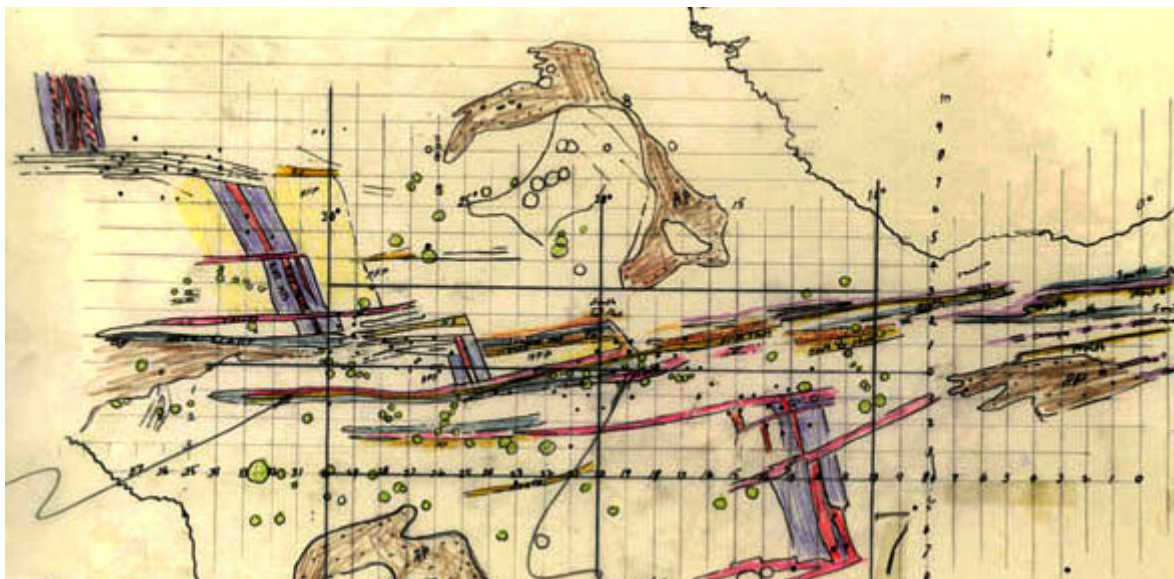
В **1939** году Г.Меррей из Береговой и геофизической службы США (Heezen et al., 1964) в нескольких сотнях миль к западу от мыса Мендосино (Тихоокеанское побережье Северной Америки) описал на дне океана протяженный уступ субширотного простирания. Изучение этого

образования было прервано Второй Мировой войной и лишь в 1955 году Г.Менард описал восемь сходных уступов, которые были интерпретированы как разломные зоны.

В **1961** году в Приэкваториальной области Атлантического океана, после работ 17-го рейса нис "Чейн" и обобщения сейсмических данных собранных в экваториальной Атлантике с 1956 по 1960 год, были открыты (Menard, 1986) сложно построенные участки дна, которые были описаны (Heezen et al., 1964) как разломные зоны.

Через два года группой сотрудников Океанографического института в Вудс Холле, в Ламонтской геологической обсерватории Колумбийского университета (Heezen et al., 1964), была сдана в печать превосходная работа, в которой предполагалось существование огромных левых сдвигов в экваториальной Атлантике, получивших название Чейн и Романш. Было сделано заключение, что желоба пересекают весь САХ, а входящие в них породы сходны с другими кристаллическими образованиями, драгированными с срединно-океанических хребтов. Всего же, на прилагаемой к статье схеме, между 10° с.ш. и 5° с.ш., было изображено 11 разломных зон, что учитывало результаты других работ (Heezen et al., 1964).

Один из первых макетов карты экваториальной Атлантики



<http://www.earthinstitute.columbia.edu/library/TharpMapping.html>

Открытие необычного природного явления повлекло необходимость теоретического объяснения, которое появилось в **1965** году (Wilson, 1965)

Дж.Уильсон (Wilson)



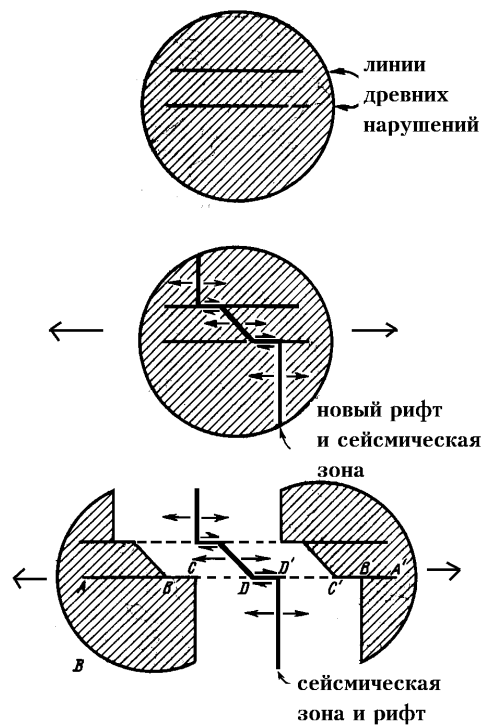
<http://www.earthinstitute.columbia.edu/library/TharpMapping.html>

Дж.Уильсон, изучив размещение горных систем, СОХ и крупных разломов Земли, отметил факт резкого обрыва этих структур. Он предположил, что все мобильные пояса связаны в единую цепь, обрамляющую несколько крупных жестких плит. При этом "любая из вышеупомянутых структур в своем окончании может переходить или трансформироваться в структуры одного из двух типов....

Область сочленения, в которой один структурный элемент преобразуется в другой, предлагается назвать трансформой (transform), или областью трансформации" (Уильсон, 1974, стр. 58-59). Автор предположил, что существует особый класс разломов-сдвигов, которые резко обрываются с обеих концов, но по которым могут фиксироваться значительные смещения. Для этих образований был предложен термин "трансформный разлом" и указывалось, что они должны называться "в соответствии с теми структурными формами, которые они соединяют (например, правосторонний трансформный разлом типа хребет-выпуклая дуга" (там же, стр.60).

Схема формирования трансформного разлома

Wilson, 1965



Используя идеи Р.Дица, Дж.Уильсон предполагал, что САХ расширяется с образованием новой океанической коры, оставляя в рельефе дна неактивные следы своего бывшего положения. Он приходит к выводам, что видимое смещение срединно-океанического хребта "является лишь отражением формы первоначального раскалывания двух континентальных блоков" (там же, стр. 62) и что места пересечения трансформных разломов с противоположными берегами "представляют собой сопряженные точки, которым следовало бы быть совмещенными перед началом рифтинга" (там же, стр.63).

В последующие пять лет продолжалось бурное развитие вышеупомянутых идей многими авторами, которые создали принципиально новую картину тектоники Земли, которая охватывала как континенты, так и океаны.

В 1968 году В.Морганом (Принстонский университет, Океанографический институт в Вудс Холле) была предложена геометрическая модель, согласно которой поверхность Земли можно разделить на 12 частей

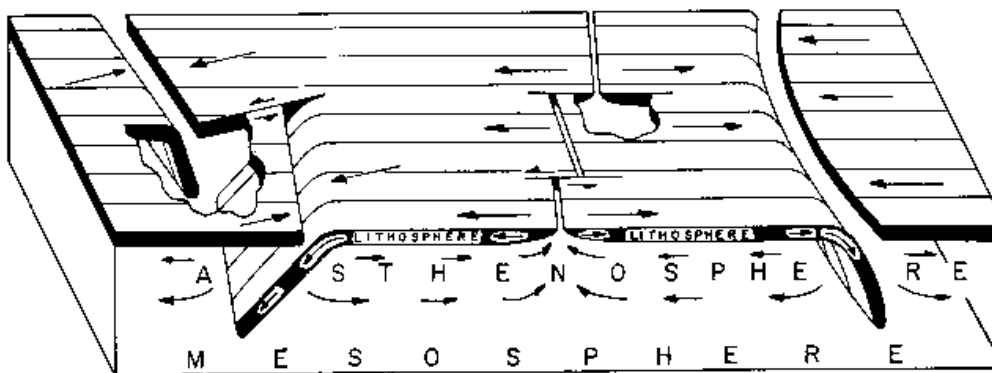
Основные особенности блоков сводились к ряду особенностей. "Мы должны сделать допущение", - писал автор, - "которое может придать предложенной модели математическую строгость, а именно мы допускаем, что каждый блок коры обладает абсолютной жесткостью" (Морган, 1974, стр.69). "В пределах же Тихоокеанского или любого другого блока коры, как предполагает автор, отсутствуют растягивающие усилия, инъекции крупных даек, утолщения коры или какие-либо иные нарушения, которые вызвали бы изменения расстояний между отдельными точками (там же, стр.70).

Предполагалось, что для восстановления траекторий движений блоков предлагается довольно простой способ: "по направлению даже одного

трансформного разлома уже можно судить о направлении перемещения этих блоков... . При этом не следует учитывать разломы,... которые не согласуются с другими." (там же, стр.70).

В том же, 1968 году, Б.Айзекс, Дж.Оливер и Л.Сайкс, специалисты из Ламонтской геофизической обсерватории, Колумбийского университета опубликовали крупное обобщение в котором была выдвинута концепция "новой глобальной тектоники", которая объединила гипотезу А.Вегенера, спрединга и трансформных разломов (Айзекс и др., 1974).

Блок-диаграмма, на которой схематически показаны конфигурация и роль жесткой литосферы и астеносферы



Айзекс и др., 1974, <http://www2.ocean.washington.edu/oc540/lec01-1/>

В СССР также были определены такие основные направления фундаментальных океанологических исследований в области геотектоники (Зенкевич и др., 1968) как: происхождение океанических впадин и рельефа хребтов, неоднородность мантии, рифтовая система, проверка и развитие гипотез конвекции, расширения океанического дна и движения материков. В 1969 году в ИОАН была создана секция геоморфологии, геофизики и геотектоники дна океанов.

Основные выводы

Существенную роль в становлении и развитии новой глобальной тектоники сыграло удачное совпадение несколько обстоятельств - разработка и внедрение новых образцов техники, ряд крупных открытий (Мировая рифтовая система, полосовые магнитные аномалии, успехи в сейсмологии, океанские разломы и некоторые другие), создание многоцелевого мирового научного флота, проведение ряда организационных мероприятий, включая разработку международных перспективных программ, а также большая научно-популярная работа, которые были завершены к концу 60-х годов.

Крупные открытия в области теоретической тектоники океанов зависят от развития технических средств получения новых данных и методов обработки. Без инвестирования средств в новые технологии исследования дна океанов и экспедиции нельзя ожидать видимого прогресса в понимании процессов, происходящих на океанической литосфере. Теоретические геологические выводы зависят от развития техники морских работ и внедрения новой аппаратуры, которое влечет за собой огромные

финансовые затраты.

В 1855 году была создана первая карта М.Мори, на которой было отмечено Телеграфное плато, в 1885 году - на карте Д.Меррея был изображен Средне-Атлантический вал, который становится объектом пристального внимания тектонистов (Э.Ог, А.Вегенер, Р.Штауб и др.). В 1934 создается карта Т.Стокса и Г.Вюста, на которой изображаются многие особенности строения Атлантики, которые приводят к созданию все большего количества тектонических моделей. Наконец, многолетние работы с применением новейших для того времени приборов привело в 1959 году к созданию физиографической карты Б.Хизена и М.Тарп, которая привела к идеям конвекции, спрединга, а в конечном итоге - к новой глобальной тектонике.

Внедрение новых типов техники для изучения океанического дна происходило соответственно через 30 лет, 52 года, 17 и 45 лет. Внутри этих интервалов создавалось 1-2 международно признанных батиметрические карты с периодом создания - около 25 лет.

Топонимика (географические названия)

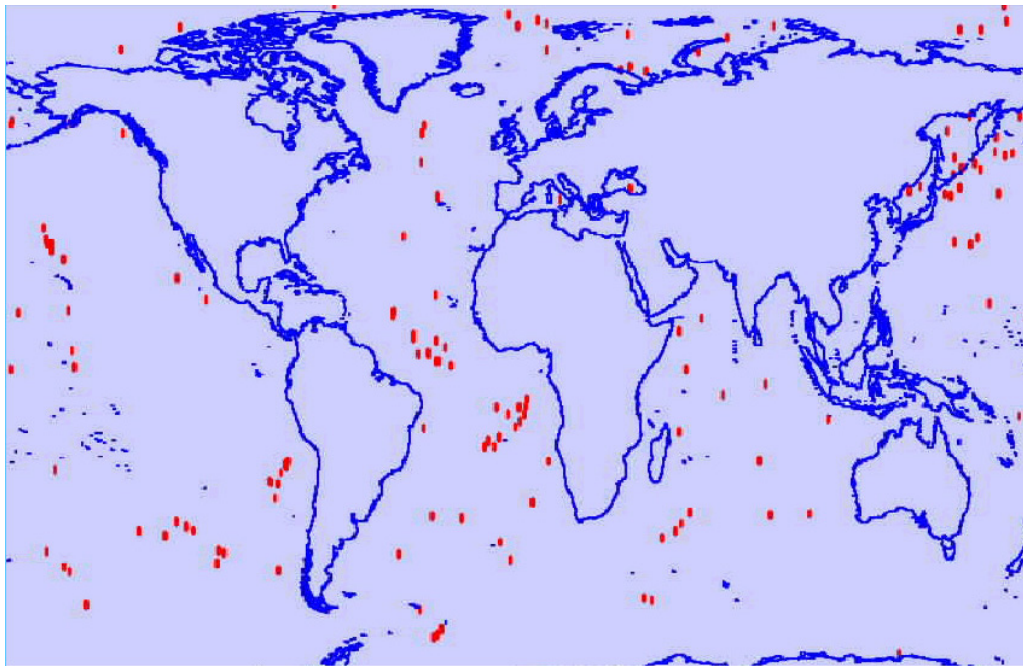
Топонимика - совокупность географических названий на какую-либо территорию. Для океана - предметом наименования международным сообществом могут быть подводные объекты вне зон юрисдикции. Принципы наименования - короткие, простые названия; предпочтение - названия сопряженные с уже наименованным географическим объектом (Алеутский желоб и т.п.); собственные названия - в память экспедиций, судов или людей, которые внесли выдающийся вклад в дело освоения океанов; могут быть присвоены названия для объектов, имеющих характерные черты (гора Подкова); группы однотипных форм могут быть объединены под единым названием (горы Музыкантов)

Вклад России в изучение Мирового океана

Отечественными учеными были открыты и детально изучены многие формы подводного рельефа (только подводных гор - более 200), многие из которых имеют размеры, существенно превышающими региональный - хребты Ширшова (Бериногово море), Книповича (север Атлантического океана); глубоководные желоба (Витязь, Западно-Маланезийский, Южно-Оркнейский. Огромную роль сыграли исследования разломов и подводных гор. Присвоение названия возможно только после детального исследования, которое рассматривается международной комиссией в Монако. В результате присвоены названия: разломы - Архангельского, Богданова, Вернадского, Курчатова, Петрова, Страхова и мн. др.; гор - Леонова, Меннера, Маркова, Пейве, Савельева и пр. В Арктике в 50-е годы были предсказаны, а затем и открыты хребты Гаккеля, Ломоносова и Менделеева.

Формы подводного рельефа (красные точки), открытые отечественными экспедициями (или названные в честь российских ученых)

(карта составлена по данным Г.В.Агаповой)



Методы и оборудование для изучения дна Мирового океана.

Мировой научный флот

Систематическое исследование Мирового океана в XX веке начиналось, как правило, на судах военно-морских флотов разных стран. Вместе с тем, многообразие научных задач и необходимость изучения совершенно разных объектов как в толще воды и в атмосфере, так и на дне океана привело к созданию специализированных судов, на которых устанавливалась, в зависимости от поставленных задач, различная техника и оборудование. В самом общем виде, в состав *всемирного научно-исследовательского флота* входят суда различной государственной и ведомственной принадлежности, которые предназначены для специализированного изучения рельефа дна, биологических и геологических ресурсов океана, геофизических полей, многостороннего изучения свойств океанской воды и атмосферы. Особым подразделением научного флота могут считаться буровые суда и платформы, а также подводные пилотируемые аппараты (ППА).

Примеры современных научно-исследовательских судов



<http://www.navsource.org/archives/09/5725.htm>

Atlantis. Год постройки - 1996, США. Водоизмещение - 3350 т. Длина, ширина, осадка - 90 м x 17 м x 5.61 м. Скорость - 12 узлов



Академик Николай Страхов. Год постройки - 1985. Россия. Водоизмещение - 2600 т. Длина, ширина, осадка - 70 м x 11 м x 5.61 м. Скорость - 12 узлов

Эхолотный промер: история, эхолоты

Вопрос о глубине океана издавна привлекал человечество. Для этого применяли веревку, а затем металлический трос. Эти способы измерения не могли считаться точными и приводили к крупным ошибкам, чему в немалой степени способствовали течения. Акустические системы (эхолоты) появились перед второй Мировой войной. Это был революционный прорыв в практике изучения рельефа дна. Принцип последних заключается в посылке звукового сигнала, который отражается от акустически жесткой поверхности и возвращается на приемную антенну. Умножение скорости звука в воде (примерно 1500 м/с) на время и давало глубину. На точность измерения, влияют свойства воды – температура, соленость и пр. Разница в скорости звука до глубины 200 м, доходит до 3-4 м/с, а до глубины 800 м - 1-1.5 м/с. Поэтому для каждого конкретного района необходимо проводить специальные измерения, которые дают кривую изменения скорости звука в воде, что позволяет вносить соответствующие поправки.

Эхолотный промер - базовый метод изучения глубин океана, который является основой для последующих геологических, геофизических работ и теоретических разработок.

Многие тектонические выводы в океане зависят от представлений о строении его рельефа, которые, в свою очередь, зависят от точности батиметрических карт, создание которых зависит от способов измерения глубин.

Эхолоты, а затем и эхолоты-самописцы позволили проводить измерения на ходу судна. Что резко расширило охват изучения акваторий и повысило точность измерений. В конце 70-х годов были изобретены многолучевые эхолоты, которые открыли новые возможности для детального изучения и картирования подводного рельефа. Многолучевые эхолоты (МЭ) отличаются тем, что в глубину посылаются не один луч, а много (до многих десятков), которые веером расходятся от оси судна и позволяют картировать широкую полосу дна (от 70% глубины до 5 глубин, т.е. при глубине 5000 м охватывается полоса в 25000 м). В 1980 г. такими системами было оснащено порядка 10 судов. В настоящее время эхолоты различных конструкций (15-, 60-, 81-, 181-лучевые) установлены более чем на 100 судах, в том числе на 10 российских. На судах РАН это финские 15-лучевые системы ECHOS-625 (на "Петрове" и "Страхове", и их 60-лучевые модификации на "Иоффе" и "Вавилове"). Матрица 15-лучевого эхолота позволяет производить измерение глубин в полосе шириной 70% от

глубины моря.

Один из современных эхолотов EM12S измеряет глубины по 81 лучу с углом матрицы при вершине до 120° и максимальной шириной полосы облучения до 3,5 глубин или 20 км. Он оснащен также мелководным эхолотом EM1000, который предназначен для работ в шельфовых зонах и измеряет глубины по 151 лучу с максимальным углом матрицы до 150° и шириной полосы до 7.4 глубин. Принципиальная схема многолучевого эхолота состоит из: излучающей и приемной антенн; подсистем излучения и приема, а также многочисленные специальные блоки, которые позволяют вводить команды, проводить цифровую обработку данных, визуализировать в реальном времени рельеф дна и многое другое.

С 1840 по 1970 гг. - от первого промера Дж. Росса до становления новой глобальной тектоники произошло три смены "аппаратуры":

в **1870** - году веревочный линь сменился металлическим тросом,

в **1922** - году появился эхолот,

в **1935** - эхолот-самописец,

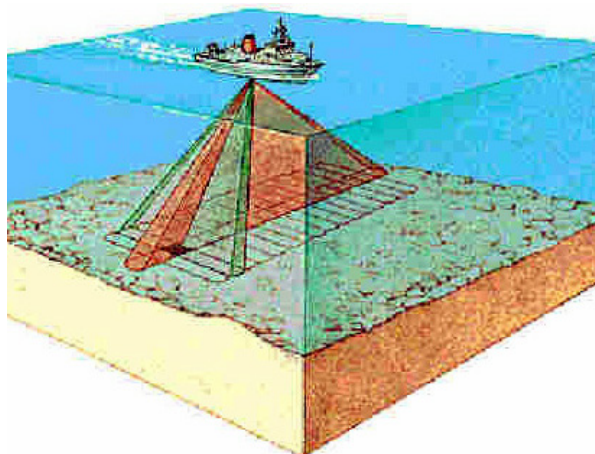
в конце **70-х** - многолучевой эхолот. Он знаменует новый качественный этап измерения глубин.

Сейчас мы находимся в стадии накопления информации, которая может быть обобщена в первой половине XXI века. Получение новой информации о строении таких объектов как трансформные разломы, срединно-океанические хребты и др. может привести к созданию и новых тектонических концепций

Некоторые особенности съемки дна многолучевым эхолотом

Съемка планируется в зависимости от предполагаемого рельефа, примерно с 10% перекрытием с каждой стороны полосы. В связи с тем, что наибольшие ошибки возникают на краевых лучах, обработка стыков галсов и особенно участков их перекрытия представляет наибольшую трудность.

Принцип работы многолучевого эхолота. Покрытие от 0.7 до 5 глубин - зависит от количества лучей



<http://www.sciam.com/0697issue/0697pratson.html>

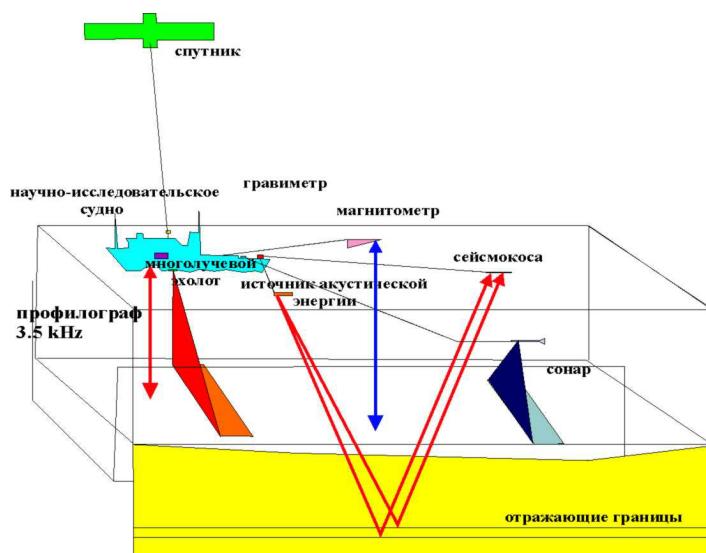
Комплекс норвежского многолучевого эхолота "SIMRAD" E-12 и E-1000 (86 лучей)



Комплекс аппаратуры для современной съемки дна

Должен включать: многолучевой эхолот, профилограф 3.5 kHz, магнитометр, гравиметр, сонар бокового обзора, непрерывное сейсмическое профилирование. Навигационная привязка - спутник системы GPS (Global Position System)

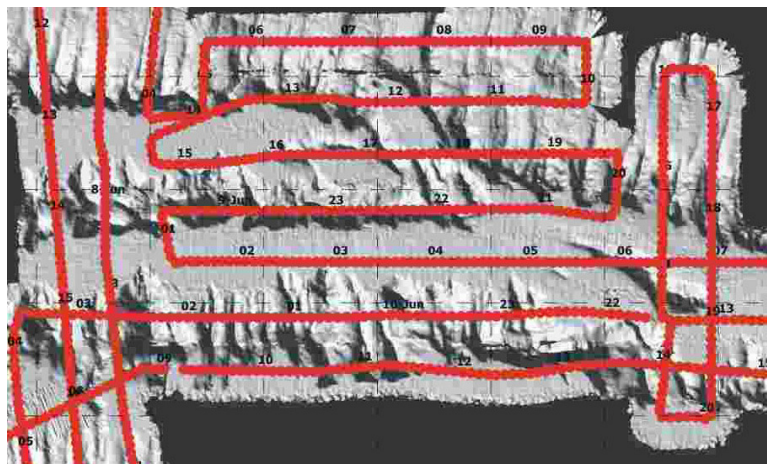
Схема организации современной комплексной съемки по <http://woodshole.er.usgs.gov> изменениями



Пример организации съемки в котловине Зеленого Мыса для полного покрытия площади

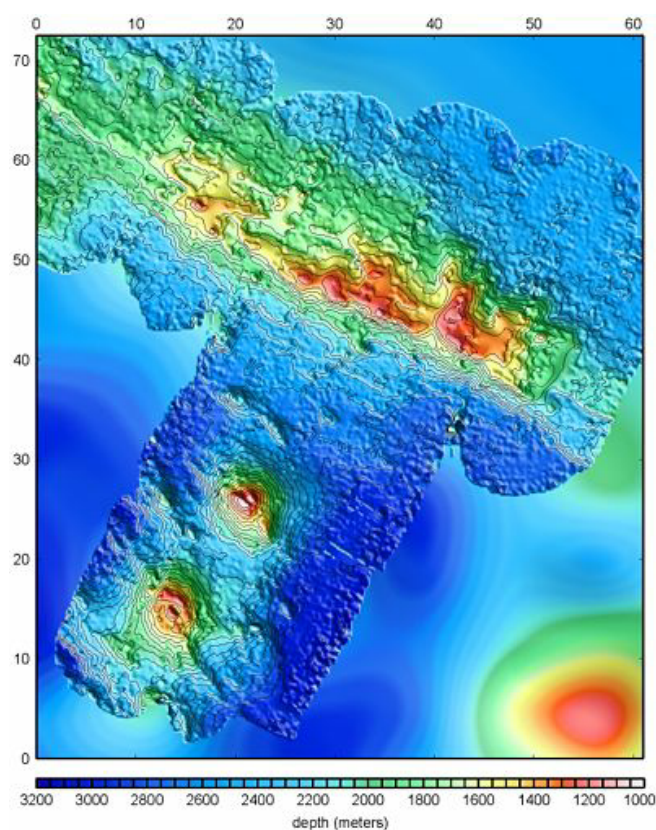
22-ой рейс НИС "Академик Николай Страхов"

(картографическая основа - результат съемки по технологии оттененного рельефа; красные линии - галсы; цифры - часы)



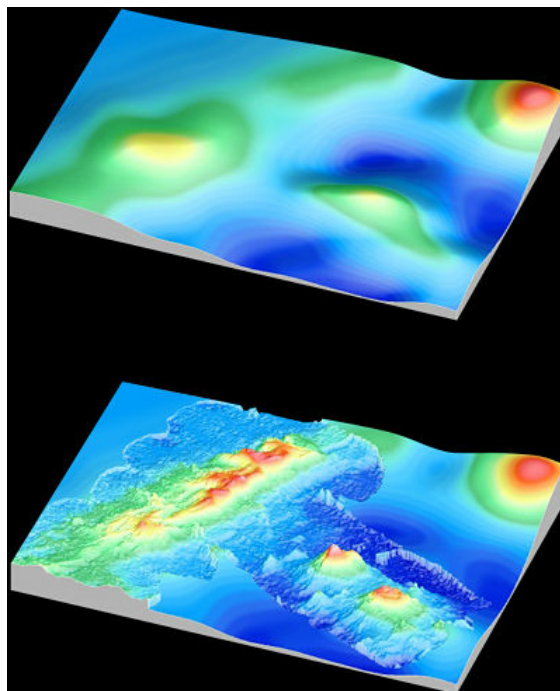
Примеры многолучевого эхолотного (МЭ) промера

Результат съемки МЭ на фоне съемки однолучевым эхолотом (план)



<http://www.seabedmapping.com/swath/>

Вверху - результат съемки однолучевым эхолотом, внизу - МЭ (перспективное изображение)

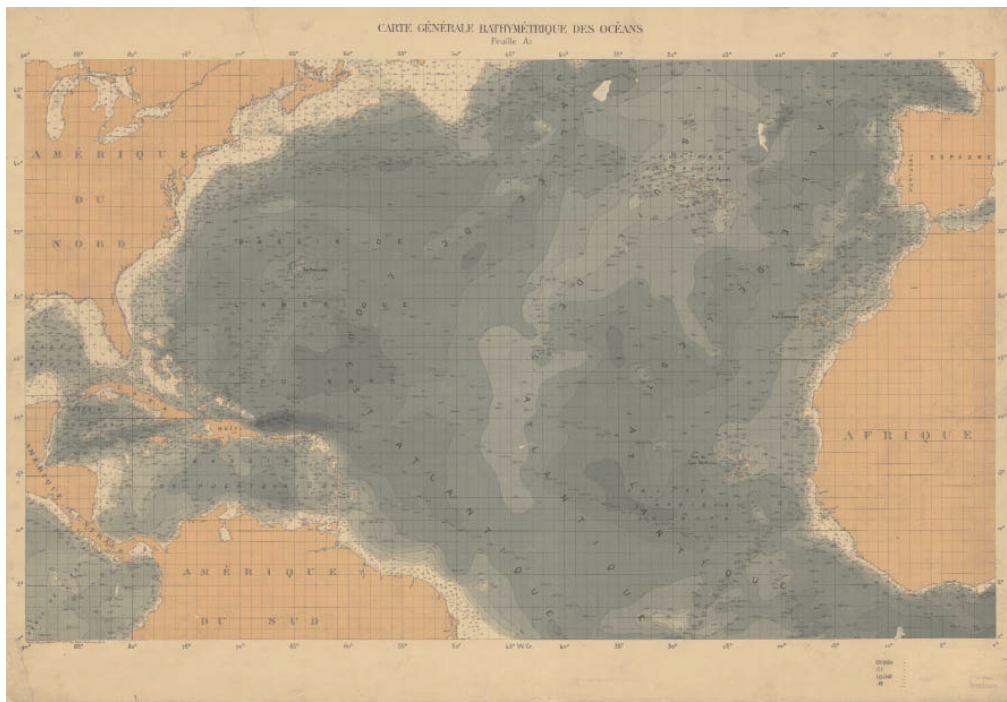


<http://www.seabedmapping.com/swath/>

Генеральная батиметрическая карта Мирового океана - ГЕБКО (GEBCO)

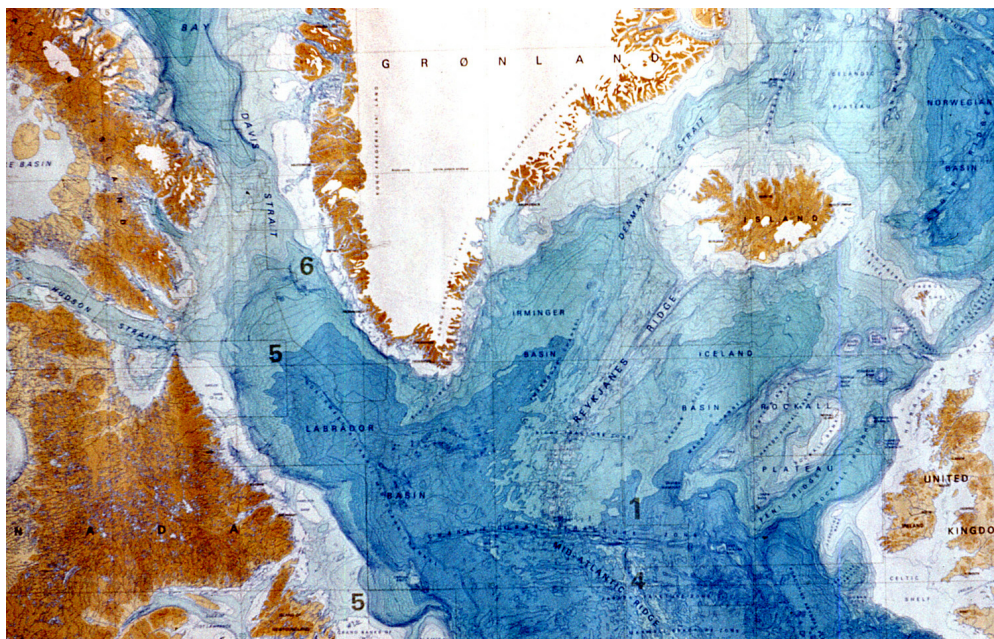
(информация любезно предоставлена Г.В.Агаповой). На 7-ом Международном Географическом конгрессе в Берлине, в 1899 г. было принято решение о составлении Международной батиметрической карты Мира. Первым председателем руководящего комитета стал принц Монако Альберт I. 1-е издание ГЕБКО (1903-1905 г.г.) в масштабе 1: 10 000 000 было основано на 18 400 измерений глубины при помощи троса. 2-е издание ГЕБКО (1910-1931 г.г.) уже было основано на более чем 30 000 промерах, 3-е издание ГЕБКО (1932-1955 г.г.) - на 358 700. 4-е издание ГЕБКО (1958-1971 г.г.) базировалось в значительной мере на данных эхолотов-самописцев. 5-е издание ГЕБКО (1973-1982 г.г.) (рис. 04-05) определило генеральные черты орографии Мирового океана. В ходе работы над проектом было подготовлено руководство по стандартизации географических названий форм подводного рельефа и впервые создан Газетир географических названий. Карта ГЕБКО стала использоваться как батиметрическая основа в научных и картографических публикациях, а также при разработке положений о границе зоны юрисдикции прибрежных государств. Современное, 6-е издание ГЕБКО (1984-2003 г.г.), представляет собой 1-й вариант цифрового атласа ГЕБКО, основанное на 41-ом млн. измерений глубин, собранных в более чем 4 000 рейсов судов разных стран.

Северная часть Атлантического океана ГЕБКО (GEBCO), 1903.



<http://www.earthinstitute.columbia.edu/library/>

Северная часть Атлантического океана (GEBCO, 1982)



Сейсмические методы в океане

Одни из основных методов изучения строения осадочного чехла акваторий или более глубоких горизонтов (структуры, скоростных характеристик). В зависимости от частоты излучения меняется глубина изучения осадочного чехла и более глубоких горизонтов. Выделяются высокочастотные, одноканальные (непрерывное сейсмическое профилирование - НСП), многоканальные (МОВ ОГТ) методы, а также глубинное сейсмическое зондирование (ГСЗ) (см. таблицу). Принцип методов основан на проникновении энергии, создаваемой источниками (сжатый воздух, электрический

разряд) в породе, отражении от тех или иных горизонтов, а затем возвращении сигнала, который принимается на антенну (сейсмическая коса) и накапливается на сейсмостанциях. Дальнейшая обработка цифровых данных производится на компьютерах при помощи многочисленных программ, позволяющих отфильтровывать помехи (шумы), оставляя полезную информацию о строении земной коры. Имеется множество модификаций оборудования (донные станции, радиобуи и пр.) (см. курс геофизики).

высокочастотная	порядка 3.5 kHz	порядка первых десятков м
НСП	порядка 100 - 500 Hz	порядка 2 км
многоканальная	порядка 25-75 Hz	порядка 6-7 км
ГСЗ	порядка 5 - 25 Hz	порядка 40 км

Пушка для одноканального непрерывного сейсмического профилирования (на борту НИС "Академик Николай Страхов", объем - 1 л)



фото Соколова С.Ю.

Подводные роботы

При изучении дна океана широко применяются буксируемые устройства (например - TOBI, Великобритания), которые могут представлять собой комплекс аппаратуры, предназначенной для изучения гравиметрического, магнитного полей, в сочетании с сонарами бокового обзора, профилографом, и иным геолого-геофизическим оборудованием. Сонары (например Gloria II) предназначены для изучения морфологии дна. Специальный погружаемый робот перемещается над дном океана на высоте 300-400 м.

TOBI на палубе



www.cq.rm.cnr.it/tivoliweb/

Опробование пород дна: трубки, драги, тралы и т.д.

Трубки

Опробование трубками предназначено, прежде всего, для изучения верхних (до 13-20 м) слоев осадочного чехла. Прибор представляет собой трубу со специальными приспособлениями для задержания образцов, который втыкается в осадочный чехол. Известны случаи, когда были подняты мелкие обломки коренных пород.

Драгирование

Один из основных методов, который позволяет получать образцы коренных пород дна с любых глубин.

Комплект оборудования включает: глубоководную лебедку, трос, система крепежа драги и драгу. Драга представляет собой металлический пробоотборник с треугольным, прямоугольным или круглым сечением, который оснащен специальными устройствами (сетки) для удержания породы. Сетки могут быть вваренными в корпус драги, либо навешиваться. Драга может быть обеспечена рядом страховочных приспособлений и защитной оболочкой.

Драгировочные операции включают: определение объекта для опробования, выведение судна на точку, спуск драги, собственно драгирование (отрыв породы от субстрата) и подъем пробы на борт. Время драгирования зависит от глубины дна, погодных условий и при глубинах порядка 5000 м составляет около 5 часов. Вес поднятых пород может достигать сотен килограммов. По опыту проведения экспедиционных работ в Атлантическом океане на нис «Академик Николай Страхов» драгировки могут проводиться на глубинах от 20 до 6000 м при различных погодных условиях от полного штиля экваториальной зоны до штормовых условий (ветер до 25 м/с) приантактической акватории. В Тихом океане известны драгировки, которые осуществлялись на глубинах более 7000 м.

Драга на борту нис «Академик Николай Страхов»



Глубоководное бурение

В начале 70-х годов начал осуществляться выдающийся проект XX века DSDP (**D**eep **S**ea **D**rilling **P**roject) - глубоководное бурение на американском судне "Гломар Челленджер". С этого времени стали получать прямые указания на составе и возрасте коренных пород Мирового океана. Программа бурения очень быстро превратилась из национальной в международную ODP (**O**cean **D**rilling **P**roject) на судне "JODES Resolution". За 30 лет было пробурено более 1000 скважин.

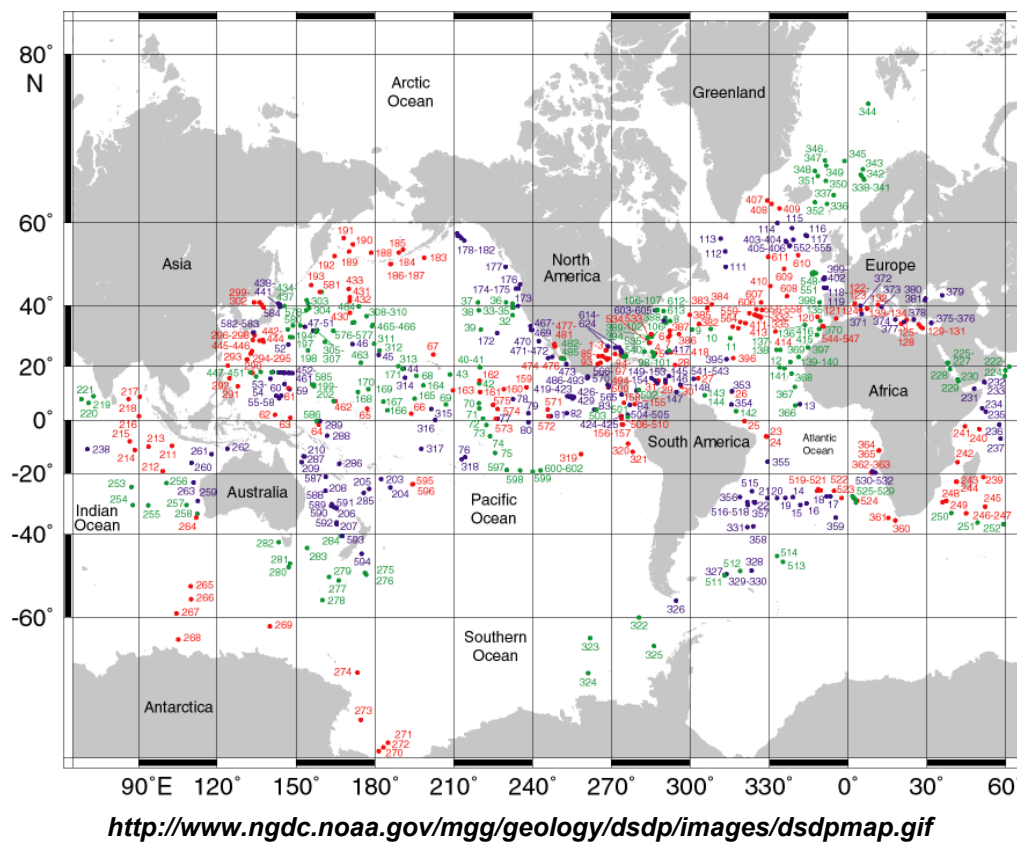
Современное буровое судно JODES Resolution



<http://www.bgr.de/odp/img2kl.jpg>

Год постройки - 1985. США. Водоизмещение - 18 600 т. Построено - США. Длина, ширина, осадка - 143 м x 21 м x 7 м.
Скорость - 17 узлов

Расположение скважин глубоководного бурения в Мировом океане



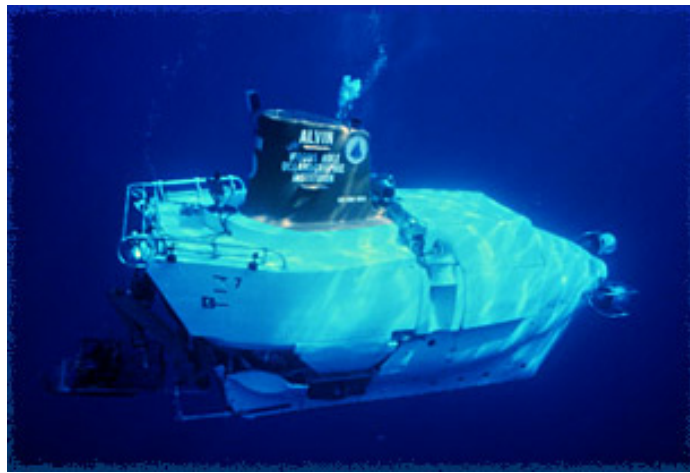
Пилотируемые подводные аппараты (ППА)

Nautilе (Франция)



<http://antares.in2p3.fr/Overview/nautilе/>

Alvin (США)



<http://www.marine.who.edu/ships/alvin/>

Мир(Россия)



<http://www.sio.rssi.ru/>

Shinkai-6500 (Япония)



<http://member.nifty.ne.jp/>

Навигация. GPS

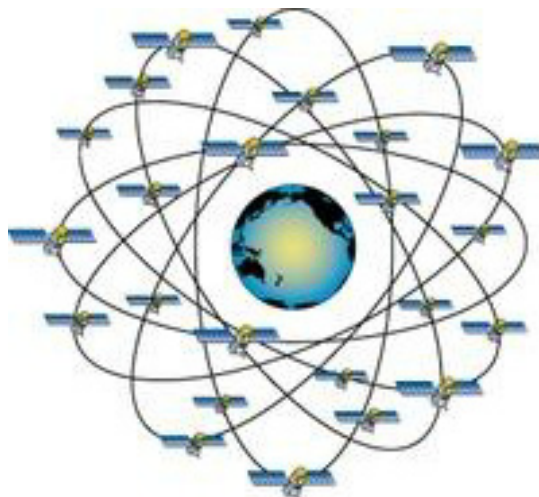
Глобальная система спутниковой навигации и позиционирования (GPS) была разработана департаменте безопасности США. Применяется для точного (метры) положения объектов.

Спутник GPS



<http://pubs.usgs.gov/>

Схема всемирной радионавигационной системы, состоящей из 24 спутников и наземных станций



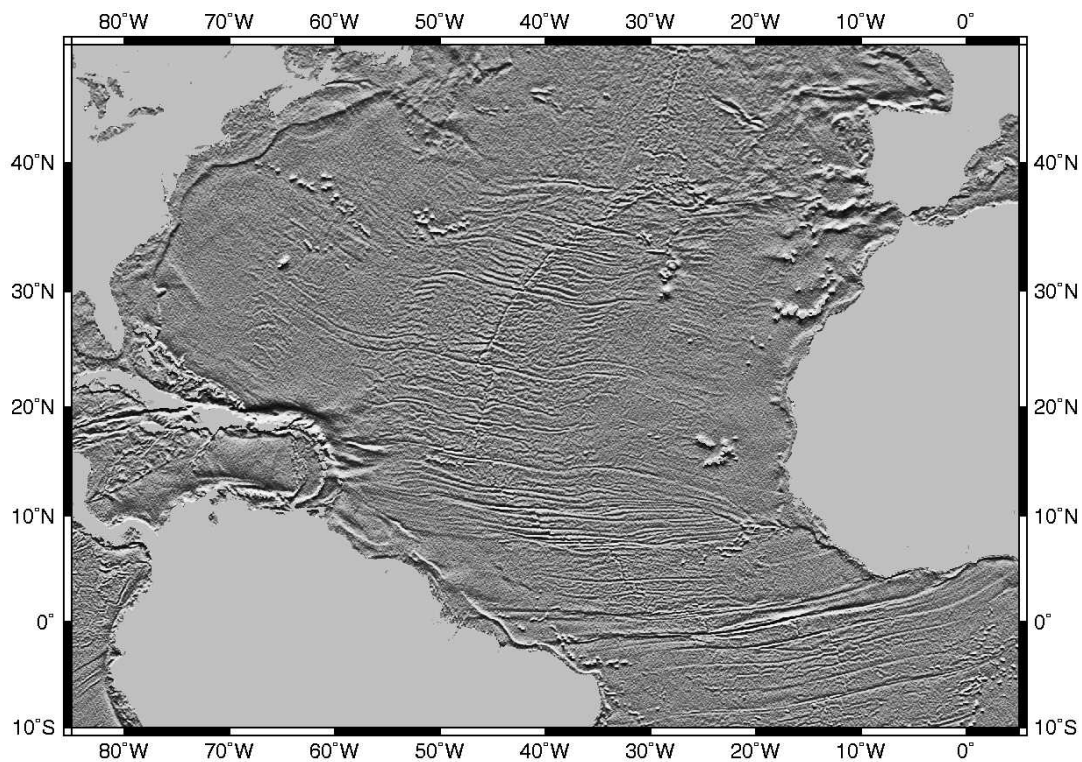
<http://pubs.usgs.gov/publications/>

Спутниковая альтиметрия.

ERS altimeter. Топография поверхности воды океана отражает рельеф дна океана и плотность. Радар проводит съемку с точностью до нескольких км, на высоте порядка 800 км.

Основы метода изложены во многих статьях. Например - Gahagan L.M., Scotese C.R., Royer J.-Y., Sandwell D.T. et al. Tectonic fabric map of the ocean basins from satellite altimetry data. // Tectonophysics. 1988. V. 155 N 1-4. p.1-26., Sandwell D.T., Smith W.H.F. Global marine Gravity from ERS-1 Geosat and Seosat reveals new tectonic fabric.// EOS (Transactions, American Geophysical Union). 1992. Vol.73. P. 133. Smith W.H.F., Sandwell D.T. Marine Gravity field from declassified Geosat and ERS-1 altimetry (abstract).// EOS (Transactions, American Geophysical Union). 1995. Vol.76. 46. Fall.Meet.Suppl. F156.

Альтиметрическая карта северной части Атлантического океана



<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/>

Предсказанная топография (predicted topography)

Метод изображения дна океана, основанный на данных спутниковой альтиметрии, которые сопоставляются с реальным эхолотным промером и в последующем, с поправками экстраполируются, на неизученные регионы. Разработана Smith W. H. F., Sandwell D. T. Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings. Science 1997. 26. 277 (5334)

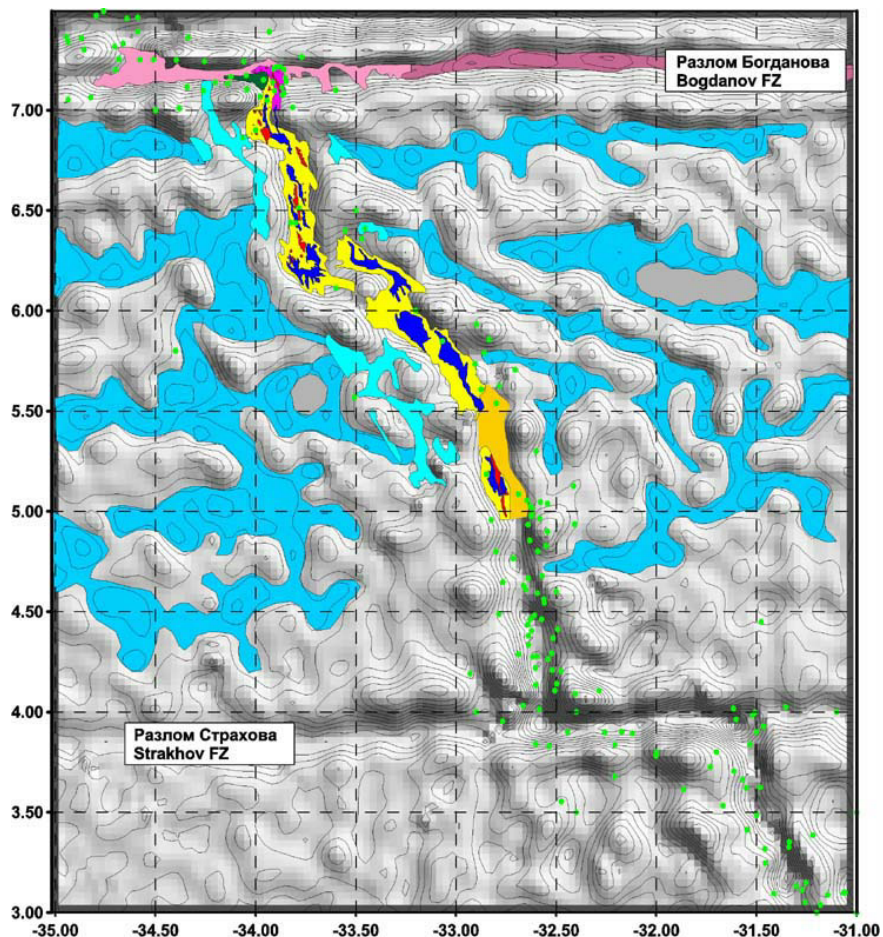
Предсказанная топография южной части Атлантического океана

<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/>

Точность предсказанной топографии

Предсказанная топография позволяет планировать проведение экспедиционных работ (выбирать районы, закладывать галсы, даже в отдельных случаях проводить драгирование), делать крупные теоретические обобщения

Предсказанная топография и результаты съемки 22-го рейса НИС "Академик Николай Страхов"



Карты и атласы

В России издано много карт и атласов на разные акватории Мирового океана, включая моря и проливы. В частности - геолого-геофизические атласы Индийского (1976), Атлантического (1990) и Тихого океанов (2003).