

УДК 551.24

МЕТОДЫ СРЕДНЕМАСШТАБНОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ОКЕАНА¹

© 2021 г. С. Ю. Соколов¹, *, Н. Н. Турко¹

¹Геологический институт РАН, д. 7 Пыжжевский пер., 119017 Москва, Россия

*e-mail: sysokolov@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.05.2020 г.

После доработки 26.08.2020 г.

Принята к публикации 28.01.2021 г.

В нашем обзоре представлено описание развития методов среднемасштабного тектонического картирования глубоководной части океана в масштабах от 1 : 1000000 до 1 : 15000000 и меньшего масштаба, проведен синтез данных по строению дна и теоретической геодинамической модели, трактующей генезис наблюдаемых структур. Показаны изменения содержания легенд карт в зависимости от инструментального уровня исследований и теории тектогенеза к насыщенности, разработанной для тектоники суши. До 1970 г. развитие тектонического картирования океанов шло по пути прямого сближения состава легенды карт с сухопутными аналогами, поскольку данные интерпретировались на основе фиксизма. При становлении идей мобилизма содержание карт океанов приобрело отличающиеся от суши тектонические элементы, свойственные только океанам. К 1970 г. обширный геологический и геофизический материал и его интерпретация на основе тектоники плит окончательно выделили особую тектоническую легенду океанов. Были построены тектонические карты с новым набором элементов легенды для всех океанов, которые входили в состав обрамления общих карт материков. Была сформирована возрастная градация океанического фундамента, основанная на индексации линейных магнитных аномалий, и первичная классификация более молодых, наложенных на фундамент внутриплитных структур. Использование данных спутниковой альтиметрии, имеющих сплошное и равномерное покрытие в средних масштабах, дало новый импульс в картировании дна и структур фундамента даже в тех областях, где они покрыты осадочным чехлом и не выделены в рельефе дна. Это привело к формированию новой генерации карт с не менее надежной фактурной основой, чем у пространственно неравномерного эхолотного промера. В конце 1980-х годов начался принципиально новый этап накопления данных инструментальных измерений и попыток их рациональной адаптации в теоретическую геодинамическую модель. В структуре океанической коры были выделены тектонические элементы — неизвестные ранее, — которые не фиксировались при неравномерной набортной съемке. Новые тектонические элементы, установленные по современным данным, обретают рациональную геодинамическую интерпретацию в рамках теории тектоники плит при допущении о блоковом и расслоенном строении движущихся плит. Информационная насыщенность новой тектонической карты и опорных данных такова, что возникает необходимость перехода от мелких масштабов к 1 : 10000000 для отображения деталей топографических основ, по которым проводилась их интерпретация. В нашем обзоре мы касаемся нерешенных проблем, возникающих в настоящее время, в составлении среднемасштабных тектонических карт глубоководной части океана, которыми являются особенности строения внутриплитных деформационных и магматических структур.

Ключевые слова: тектоническая карта, дно океана, рельеф, геофизические поля, осадочный чехол, возраст базальтового фундамента, внутриплитные деформации, тектонические элементы

DOI: 10.31857/S0016853X21020090

ВВЕДЕНИЕ

Глубоководная часть океанов, не включающая шельф и континентальный склон, составляет около 60% поверхности Земли и является ее наименее изученной частью. Ее исследования отли-

чаются от работ на суше преобладанием дистанционных геофизических методов над прямым донным опробованием и бурением. Специфика морских работ состоит в том, что дорогостоящие методы изучения сосредоточены на ключевых морфоструктурах дна (срединно-океанический хребет, асейсмичные поднятия и т.д.), отстоящих друг от друга на сотни и иногда на тысячи километров. Эта специфика приводит к тому, что

¹ Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0016853X21020090 для авторизованных пользователей.

строение пространства дна акватории между этими морфоструктурами обосновано только данными геофизики, по которым проводится интерполяция между объектами с прямой изученностью. Кроме того покрытие акватории геофизической изученностью традиционными методами — батиметрией, сейсморазведкой, грави- и магниторазведкой и другими, реализуемыми с судов, также неравномерно. Наибольший массив глубоководных данных составляют батиметрические промеры дна, и длительное время именно рельеф являлся основой, по которой проводилось выделение и интерпретация генезиса тектонических элементов океанических структур. Взрывной рост морских исследований после Второй Мировой войны помимо роста изученности привел к появлению новых методов исследований и новых тектонических концепций, объясняющих генезис выявленных структур и их глубинное строение. Это дало импульс развитию тектонического картирования дна, состоящий в обоснованном введении в использование в картах новых тектонических элементов, сопровождавшийся теоретической концепцией, адекватной фактам.

Появившиеся в конце 1980-х годов спутниковые методы, обеспечивающие равномерное покрытие и позволяющие формировать карты масштаба вплоть до 1 : 1000000, позволили распространить интерпретацию тектонических элементов от областей с хорошей набортной изученностью на всю акваторию, что явилось прорывом в морском тектоническом картировании. Другой прорывной технологией явились многолучевые эхолотные системы, позволяющие получать данные с детальностью 1 : 100000 и крупнее в случае придонной съемки и, соответственно, формировать тектонические карты этих масштабов. Но в настоящее время изученность этим видом съемки сопоставима с изученностью донным опробованием, покрывает только локальные объекты в десятки или первые сотни километров и не позволяет сформировать равномерную топографическую основу для тектонической карты таких крупных масштабов на весь океан.

Настоящий обзор сфокусирован на методах построения тектонических карт океана среднего масштаба — от 1 : 1000000 до 1 : 15000000 и меньшего масштаба. Доступные на современном этапе данные позволяют определить и обосновать новые тектонические элементы структур океана в дополнение к классическому набору, который применялся в XX в. Эти элементы имеют подтверждение в локальных детальных съемках и по спутниковым данным могут трассироваться в участки акватории, где детальные набортные съемки отсутствуют. В первые декады XXI в. стали появляться интерпретации тектонических элементов океана, выполненные при помощи линейного анализа спутниковых данных, ре-

зультаты которого в большинстве случаев подтверждаются набортными работами. Но при наличии различных тектонических моделей эти результаты порождают различные трактовки тектонического строения океанского дна.

Другой проблемой, требующей обоснованного развития тектонических карт океанов, является возрастной фактор. Восстановленная по данным линейных магнитных аномалий и бурению кристаллических пород фундамента, сформированного в результате спрединговой аккреции, возрастная структура океанского дна имеет характер более или менее монотонно возрастающий от оси срединного хребта к окраинам параметра. Тем не менее, эта картина имеет нарушения, которые образованы наложенными вулканическими постройками с более молодым, чем у фундамента возрастом. Кроме того, в ряде регионов выявлены внутриплитные деформационные структуры, также наложенные на первичный фундамент, но в отсутствие прямых данных они имеют значительный разброс в оценке времени формирования. Разработка модификации возрастной легенды, связанной с возрастом спрединга по магнитным данным, и рисовки тектонических карт океанов с этой информацией — одно из перспективных направлений дальнейшего развития данного вида картирования. Учет определений возрастов наложенных структур и информации о распределении мощности осадочного чехла приводит к увеличению информационной насыщенности карт, что вынуждает укрупнять масштаб тектонических карт океанов до 1 : 10000000, приближая его к детальности карт рельефа GEBCO, по состоянию на начало 2000-х годов. Кроме исторического аспекта данная работа содержит анализ путей дальнейшего развития тектонического картирования дна океанов этого масштабного уровня.

МЕЛКОМАСШТАБНОЕ КАРТИРОВАНИЕ ДО 1970 ГОДА

Тектонические карты, по определению Ю.М. Пушаровского [18], отображают структуры земной коры и их естественные сочетания — структурные формы и тектонические зоны разных порядков и свойств. Это является отражением строения, движений и деформаций литосферы и ее развития в связи с развитием Земли.

Тектоническое картирование суши как вида геологического картирования развивалось по мере изучения геологии континентов и отдельных регионов. Переход в середине XX в. от мелкомасштабных схем к обзорному и региональному тектоническому картографированию произошел во многом благодаря трудам советских геологов Н.С. Шатского, А.А. Богданова, А.Л. Яншина и других исследователей. Начиная со “Схемы Тек-

тоники СССР” [3] и “Тектонической карты СССР и сопредельных стран” [26], в основу отечественных и зарубежных карт отдельных стран и регионов был положен историко-геологический принцип, а наиболее выразительное средство картографии — цветное обозначение элементов — характеризовало возраст тектонических элементов. Все карты базировались на геосинклинальной концепции, в рамках которой выделялись два комплекса — геосинклинальный и платформенный. На картах цветом указывались возраст складчатости и возраст становления континентальной коры.

Отсутствие данных по геологии дна океана привело к тому, что выделение тектонических элементов основывалось на батиметрическом картировании и редких геофизических данных. Батиметрическое картирование стало активно развиваться после Второй мировой войны в связи с внедрением в практику научных исследований эхолотов-самописцев. Существовавшие до этого батиметрические карты основывались на точечных промерах, число которых, например, на международной Генеральной батиметрической карте океанов GEBCO в третьем издании доходило до 300 000 промеров. Благодаря этим работам были выяснены основные элементы строения дна океана — континентальные склоны, хребты и котловины. Тектоническая природа этих морфологических элементов объяснялась различными исследователями в соответствии с их теоретическими представлениями. Обзор этих представлений для наиболее изученного Атлантического океана приведен в работе А.О. Мазаровича [12], которые сводились к двум основным теориям — мобилизма и фиксизма, и отражались в тектонических схемах.

Несмотря на увеличение числа экспедиций, исследования велись в основном в северном полушарии, а общая изученность дна океана оставалась очень незначительной. Третье издание Генеральной батиметрической карты океанов продолжалось с 1935 по 1953 г., было прервано во время Второй Мировой войны и устаревало уже по мере выхода. В 4-м издании с 1958 по 1970 г. вышло только 6 из 24 листов, и издание было прекращено как несоответствующее запросам исследователей — океанографов и геологов. Создание новой батиметрической карты Мирового океана и основы для геолого-геофизических и океанографических исследований стало задачей обновленной в 1973 г. программы GEBCO, которая объединила усилия научного сообщества и гидрографических служб, представленных Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО (Париж, Франция) и Международной гидрографической организации (Монако).

В 1960-е годы накапливаются данные по отдельным районам океана, появляются региональ-

ные карты. Значительным шагом в представлениях о дне океана явился выход в свет книги Б. Хейзена, М. Тарп и М. Юнга “Дно Атлантического океана” в 1959 г. [31] (русской перевод опубликован в 1962 г.), к которой была приложена физиографическая карта. Кроме огромного количества обобщенного в ней материала, первое столь наглядное представление о сложности и разнообразии рельефа океанского дна дало мощный толчок дальнейшим исследованиям и попыткам объяснить структуру земной коры.

До начала 1960-х годов на большинстве тектонических карт в океанических областях была показана только батиметрия, например на “Международной тектонической карте Европы” масштаба 1 : 2 500 000 (под редакцией Н.С. Шатского, Г. Штилле, А.А. Богданова, Ф. Блондела [15]), “Тектонической карте Европы” (под редакцией А.Л. Яншина [24]), а также в “Физико-географическом атласе Мира” 1964 г. издания. Обзорные тектонические карты, включающие как континентальные, так и океанические пространства, появляются для отдельных океанов, в первую очередь — Северного Ледовитого океана.

В Геологическом институте АН СССР (г. Москва, Россия) в 1959 г. была составлена тектоническая карта Арктики под редакцией Н.С. Шатского, выполненная в полярной картографической проекции в масштабе 1 : 7 000 000. Такой масштаб позволил гораздо более детально представить особенности строения земной коры Арктической области. Ю.М. Пушаровский, представляя эту карту на общем собрании Академии наук СССР, в своем докладе, опубликованном вместе с докладом по тектонической схеме, отметил большое значение данных по рельефу дна морских и океанических пространств для понимания структуры земной коры в Арктике [17] (рис. 1). Одним из важнейших достижений в этой области являлось открытие советскими исследователями подводного хребта Ломоносова, показанного на новейшей батиметрической карте Арктики, созданной под руководством А.Ф. Трешникова в 1960 г. и ставшей топографической основой для тектонической карты [17], на которой на фоне батиметрии в полярном бассейне выделены границы древних платформ и области крупных наложенных опусканий (глубоководные впадины).

В 1964 г. опубликована “Тектоническая карта Арктики и Субарктики” масштаба 1 : 5 000 000 (под редакцией И.П. Атласова [4]) (рис. 2). Впервые была сделана попытка изображения тектонических структур суши, шельфа и дна океана в единой системе условных знаков и в близкой степени детальности контуров. Для интерпретации тектонических структур дна океана в карте [4] была использована Геоморфологическая карта Северного Ледовитого океана в масштабе 1 : 5 000 000,

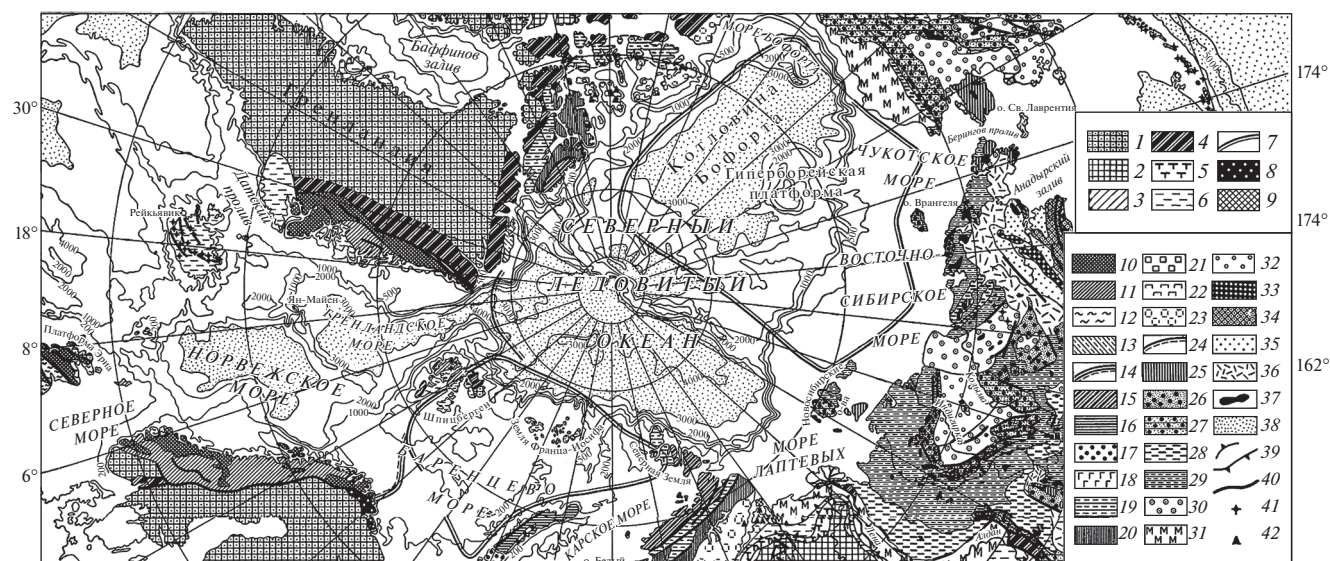


Рис. 1. Фрагмент Схематизированной тектонической карты Арктики (по данным [17]).

1 — выступы складчатого основания древних платформ. Платформенный чехол; 2 — мощность до 2000 м; 3 — мощность более 2000 м; 4 — без разделения по мощностям; 5 — средне- и верхнепалеозойский; 6 — мезозойский; 7 — предположительные границы древних платформ в акваториях; 8–9 — области байкальской складчатости: 8 — докембрийские складчатые комплексы, 9 — платформенный чехол эпирифейских платформ; 10–14 — области каледонской складчатости: 10 — выступ дорифейского складчатого основания и нижний структурный ярус, 11 — средний структурный ярус, 12 — верхний структурный ярус, 13 — зоны затухания каледонид, 14 — предполагаемые границы каледонид в акваториях; 15–16 — области герцинской складчатости: 15 — выступы дорифейского складчатого основания, 16 — нижний и средний структурные ярусы; 17–18 — верхний структурный ярус: 17 — внутренние впадины, 18 — краевые прогибы; 19–20 — зоны затухания герцинид и сходные с ними образования: 19 — нижний и средний структурные ярусы, 20 — верхний структурный ярус; 21–24 — платформенный чехол на эпипалеозойских платформах: 21 — мощность до 3000 м, 22 — мощность более 3000 м, 23 — чехол без разделения по мощностям, 24 — предполагаемые границы герцинид в акваториях; 25–27 — области мезозойской складчатости: 25 — сложенные складчатостями породами докембрия, 26 — с платформенным чехлом палеозоя, 27 — сложенные складчатостями, но не геосинклинальными породами нижнего и среднего палеозоя; 28–29 — нижний структурный ярус: 28 — нижний подъярус, 29 — средний и верхний подъярус; 30–32 — верхний структурный ярус: 30 — внутренние впадины, 31 — краевые прогибы, 32 — внутренние кайнозойские впадины; 33–36 — области камчатской складчатости: 33 — выступы докембрийского и палеозойского складчатого основания и нижний структурный ярус, 34 — средний структурный ярус; 35 — верхний структурный ярус, 36 — вулканогенный комплекс окраинного пояса кайнозойской складчатости; 37 — мезозойские и кайнозойские гранитоиды; 38 — области крупных наложенных опусканий (глубоководные впадины); 39 — контуры крупных тектонических структур; 40 — разломы; 41 — вулканы; 42 — соляные купола

составленная В.Д. Дибнером, Я.Я. Гаккелем, В.М. Литвиным, В.Т. Мартыновым и Н.Д. Шургаевой. При составлении карты были использованы имевшиеся к 1963 г. геофизические данные, а также результаты изучения грубообломочного материала, собранного со дна морей. В основу построения карты положена гипотеза генезиса структурных форм океанического дна в результате процесса океанизации континентальной коры. Соответственно этому выделено два генетических ряда структур — континентальный и океанический, а также промежуточная по генезису группа парагеосинклинальных впадин [4].

В области континентальной коры, к которой относится большая часть Арктики и Субарктики, выделяются складчатые системы, современные геосинклинали и парагеосинклинали. К первым отнесены, например, складчатые сооружения хребта Ломоносова и Менделеева каледонского возраста. Части шельфов (Баренцева, Карского,

Восточно-Сибирского и Чукотского морей) вместе с прилегающими частями континентов выделены в плиты, с преобладанием нисходящих движений в мезозое и кайнозое. К парагеосинклинальным впадинам с длительным и интенсивным погружением отнесены впадины Канадская-Борфорта и Макензи. К юным геосинклиналям отнесены островные дуги и сопряженные с ними океанические рвы (Алеутский, Курильский). В области распространения океанического типа земной коры показаны срединно-океанические хребты, образовавшиеся в связи с глубинными разломами и неоген-антропогеновым вулканизмом, и океанические впадины, образовавшиеся в результате наиболее широкого проявления океанизации (Лабрадорская, Гренландская, Лофотенская, Амундсена и Нансена). В отдельную группу структур выделены океанические желоба (Баффинов, Марвина, Лены, Исландско-Гренландский, Ирландский, Фареро-Шетландский, Святой Анны, ТИНРО).



Рис. 2. Фрагмент Тектонической карты Арктики (по данным [4]).

I – плиты с неравномерно развитым мезозойско–кайнозойским чехлом; II – плиты с преимущественно развитым мезо–кайнозойским чехлом; III – архейские и протерозойские складчатые системы; IV – байкалиды; V – каледониды; VI – герциниды; VII – поздние герциниды; VIII – мезозойды; IX – альпиды (современные зрелые геосинклинали); X – парагеосинклинальные впадины и прогибы; XI – краевые прогибы; XII – Гренландско-Охотский вулканогенный пояс; XIII – океанические впадины; XIV – океанические желоба; XV – срединно-океанические хребты и поднятия; XVI – островные дуги; XVII – океанические рвы; XVIII – региональные зоны новейших разломов

В более поздней “Тектонической карте полярных областей Земли” (под редакцией Б.Х. Егизарова, И.П. Атласова и М.Г. Равича [9]) тектонические подразделения в номенклатуре разделены на три категории:

- платформы и срединные массивы, в том числе:
 - выступы складчатого фундамента (щиты),
 - плиты субгеоантиклинального развития в мезозое и кайнозое,
 - плиты субгеосинклинального развития того же возраста;
- структуры промежуточного значения и тектонической активизации, в том числе:
 - перикратонные, краевые, предгорные прогибы,
 - парагеосинклинали,
 - зоны активного эффузивного магматизма,
 - зоны разломов по границе океанических впадин;
- океанические структуры, где выделяются:
 - океанические выступы,
 - срединно-океанические поднятия или рифтовые зоны вулканотектонических поднятий (вулканориев),
 - желоба.

Из них первые две категории выделяются как на шельфах, так и на океаническом дне. В частности, плиты на послебайкальском складчатом фундаменте показаны на подводном хребте Ломоносова

и плоскогорье Север. Здесь, а также в осевых частях срединно-океанического хребта показаны выступы на поверхность каледонского складчатого фундамента.

В 1964 г. П.Н. Кропоткиным, К.А. Шахварстовой и Н.А. Федоровым составлена “Тектоническая карта Тихого океана и Тихоокеанского подвижного пояса” в масштабе 1 : 15000000, приложенная к монографии “Геологическое строение Тихоокеанского подвижного пояса” [11] (рис. 3). Батиметрической основой для этой карты послужили карты рельефа 1960-х годов дна Тихого океана, составленные Г. Менардом, Г.Б. Удинцевым, Ж. Маммерикс, а также отдельные геофизические данные, имеющие тектоническую интерпретацию. На карте акватория Тихого океана и прилегающие континентальные площади подразделены на три категории областей по типам земной коры:

- материковая;
- не выясненного строения или переходной;
- океаническая.

Дальнейшее расчленение областей с материковой корой, к которым отнесены области кайнозойской складчатости и геосинклинали Тихоокеанского подвижного пояса, проведено по возрасту складчатости [11].

В своей монографии П.Н. Кропоткин и К.А. Шахварстова отмечают [11], что основные принципы тектонического районирования Тихоокеанской области, принятые при составлении карты, представляют собой дальнейшее раз-

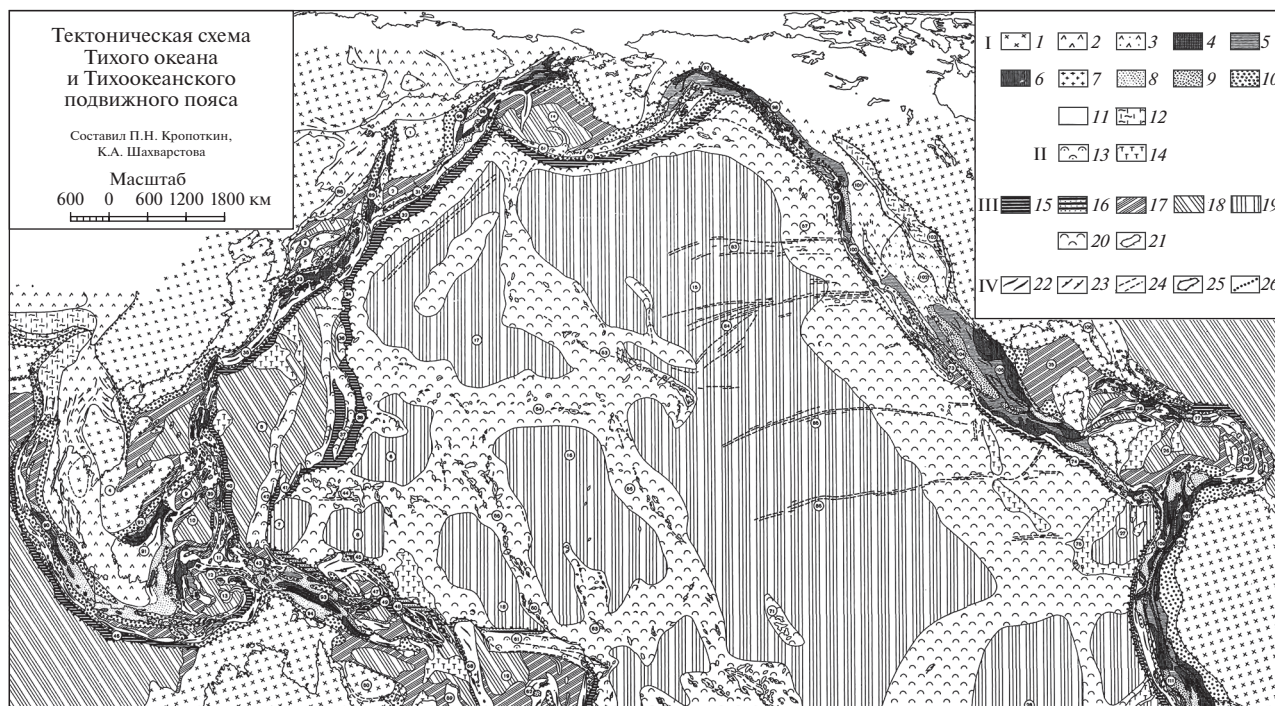


Рис. 3. Фрагмент Тектонической схемы Тихого океана и Тихоокеанского подвижного пояса (по данным [11]).

Обозначено: I — области с корой материкового типа; II — области с корой невыясненного строения или переходного типа; III — области с корой океанического типа; IV — тектонические дислокации и предполагаемый характер глубинных движений.

I—3 — области ранней консолидации: 1 — докембрийские и палеозойские платформы и массивы, 2 — области мезозойской складчатости, 3 — области палеозойской и мезозойской консолидации частично переработанные; 4—7 — области кайнозойской складчатости и геосинклинали Тихоокеанского подвижного пояса: 4 — выходы докембрийского и нижнепалеозойского метаморфического фундамента и нижний подъярус нижнего структурного яруса (морские отложения триаса, юры, нижнего мела и мезозойские гранитоиды), 5 — верхний подъярус нижнего структурного яруса (морские и континентальные отложения верхнего мела—палеогена), 6 — средний структурный ярус (морские и континентальные отложения верхнего мела—палеогена), 7 — гранитоиды среднего этапа развития (верхний мел, палеоген); 8—9 — верхний структурный ярус, в том числе: 8 — морские отложения неогена, частично палеогена и четвертичной системы и континентальные третичные отложения межгорных прогибов и грабенных, 9 — мощные вулканогенные комплексы кайнозойского возраста, главным образом неогена и четвертичной системы; 10 — верхнеогеновые и четвертичные недислоцированные отложения наложенных впадин, кайнозойские отложения краевых прогибов и геосинклинальные прогибы, заполненные толщами кайнозойских отложений и еще не вовлеченные в поднятие; 11 — геосинклинальные поднятия на площади акваторий и мелких островов, вовлеченные в кайнозойскую складчатость; 12 — области верхнемеловой и кайнозойской складчатости, не расчлененные на структурные этажи; 13—14 — области с корой невыясненного строения или переходного типа: 13 — геосинклинальные поднятия островных дуг вулканического происхождения; 14 — подводные плато и горы, возможно представляющие собой опущенные участки материковых платформ; 15—18 — области с корой океанического типа в пределах Тихоокеанского подвижного пояса, Атлантического океана и Индийского океана: 15 — глубокие желоба по периферии океанических впадин, 16 — аналоги периферических желобов глубиной по 4—5 км, 17 — котловины и широкие прогибы с корой субокеанического типа (базальт и мощные осадки) глубиной 2—4 км, образовавшиеся в мезозое и кайнозое, 18 — котловины с корой океанического типа (обычно глубже 4 км), образовавшиеся в мезозое и кайнозое; 19—21 — области с корой океанического типа в пределах домезозойской внутренней части Тихого океана: 19 — котловины глубиной более 4—5 км с базальтовой корой небольшой мощности (3—10 км), 20 — океанические хребты и валы с базальтовой корой повышенной мощности (7—20 км), 21 — возвышенности вулканического происхождения, выше изобаты 2 км; 22—26 — тектонические дислокации и предполагаемый характер глубинных движений: 22 — оси антиклиналей, антиклинорий и геосинклинальных поднятий, 23 — надвиги, взбросы и шарьяжи, 24 — разломы (сдвиги, сбросы, взбросы), зоны дробления и сдвиговые зоны, 25 — области с удвоенной толщиной земной коры (60—80 км), 26 — граница Тихоокеанского подвижного пояса

витие идей А.Д. Архангельского и Н.С. Шатского, опубликованных А.Д. Архангельским в 1941 г.

В пределах Тихого океана на карте А.Д. Архангельского были выделены:

- платформенные области в глубоких его частях (котловины Северо-Западная, Северо-Во-

сточная, Центральная, Маршаллова, Юго-Западная и др.);

- аналоги молодых складчатых горных сооружений на островах и подводных хребтах, разделяющих эти платформы (Гавайский, Срединно-Тихоокеанский, Маршаллов, Туамоту и др.);

- глубоководные рвы (желобы) по периферии океана.

На карте П.Н. Кропоткина, К.А. Шахварстовой и Н.А. Федорова [10] сохранено это основное тектоническое районирование. В пределах Тихого океана показаны котловины (океанические плиты или платформы) и возвышенности (океанические валы), которые примыкают к глубоким желобам со стороны океана (Японо-Курильский вал, Алеутский вал и др.), а также подводные хребты, отделяющие котловины одну от другой. В своей работе авторы придерживаются мнения о древности (первичности) Тихого океана и, по крайней мере, верхнепротерозойском возрасте Тихоокеанской впадины. Отметим, что хребты на ложе Тихого океана показаны одним знаком, без выделения Восточно-Тихоокеанского поднятия как звена системы срединно-океанских хребтов. Однако П.Н. Кропоткин с соавт. [10] упоминают в примечаниях предположение Г. Менарда, Дж. Вильсона и Р. Дитца о молодом возрасте юго-восточной части Тихого океана, примыкающей с обеих сторон к Южно-Тихоокеанскому и Восточно-Тихоокеанскому поднятию, т.е. продолжении здесь срединного хребта.

Выделение и типизация структурных форм дна Тихого океана, Северного Ледовитого океана и Индийского океана в районах, прилегающих к Евразии, проведена при составлении “Тектонической карты Евразии” масштаба 1 : 5 000 000 (под редакцией А.Л. Яншина и объяснительной записке к ней [33]) (рис. 4).

В основу классификации, разработанной А.Л. Яншиным и Г.Б. Удинцевым, положен историко-геологический принцип. В акваториях морей и океанов, омывающих континент Евразия, были показаны три важнейших типа тектонических областей, различающихся геологической историей развития [33]:

- подводные части материковых структур, представленные областями докайнозойской складчатости различного возраста;

- кайнозойские складчатые и геосинклинальные области, недавно завершившие, завершающие или продолжающие геосинклинальное развитие. К этому типу областей отнесены подводные части Альпийского и Тихоокеанского (кайнозойского) поясов с их современными геосинклинальными котловинами, желобами и складчатыми сооружениями;

- области древних и молодых океанических платформ (талассократонов), возникшие в разные периоды палеозоя и мезозоя в результате погружения прежних материковых структур. К древним платформам отнесены проблематичные платформы Эриа, Баренцевоморская и Гиперборейская. При этом Гиперборейская и отчасти Баренцевоморская платформы в своих гра-

ницах пересекаются со следующей градацией тектонических областей — молодыми океаническими платформами. Так, впадина Бофорта (океаническая плита) и хребет Менделеева (сводовое океаническое поднятие) являются одновременно частями молодого талассо-кратона Северного Ледовитого океана и древней Гиперборейской платформы [33].

СРЕДНЕМАСШТАБНОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПОСЛЕ 1970 ГОДА

К началу 1970-х годов был обобщен большой массив данных, полученных в рамках Международного геофизического года (1958 г.) всеми странами-участниками этого проекта. В результате, в 1970 г. была составлена “Тектоническая карта Тихоокеанского сегмента Земли” под редакцией Ю.М. Пушаровского и Г.Б. Удинцева [27, 29, 18]. Для осуществления этой работы были обобщены материалы съемки дна, полученные в результате международного обмена, включающие эхолотирование, непрерывное сейсмическое профилирование, измерение гравитационного и магнитного полей, донное опробование осадков и коренных пород, фотографирование дна и многое другое. Отличительной особенностью этой карты стало заполнение глубоководного пространства океана новыми тектоническими элементами, расположенными в обрамлении континентальных тектонических структур. Основным информационным слоем, сформировавшим рисунок океанских структур, явился рельеф дна, который после геоморфологического обобщения результатов позволил построить топографическую основу масштаба 1 : 10 000 000 на всю акваторию. Не менее важным аспектом явилось то, что структурная интерпретация этой основы проводилась в рамках мобилистской геодинамической модели, которая позволила адаптировать и дать рациональное объяснение многим структурам дна и обосновать введение новых тектонических элементов в легенду.

В совокупности с данными по рельефу [8, 38] теория тектоники плит объяснила конфигурацию аномальных компонент гравитационного и магнитного полей [6, 54], распределение сейсмичности, осадочного чехла, скоростей распространения сейсмических волн в консолидированной части коры и верхней мантии, геохимию коренных пород и возрастную структуру спредингового фундамента, подтвержденную бурением. В основу механизма перемещения плит была положена тепловая конвекция в мантии [32, 45], которая в первом приближении дала непротиворечивую увязку всех геолого-геофизических данных. Особый интерес представляют обобщения данных по рельефу, сделанные Б. Хейзенем с соавторами [44]. В регулярный набор структурных терминов были внедрены такие понятия как срединно-океаниче-

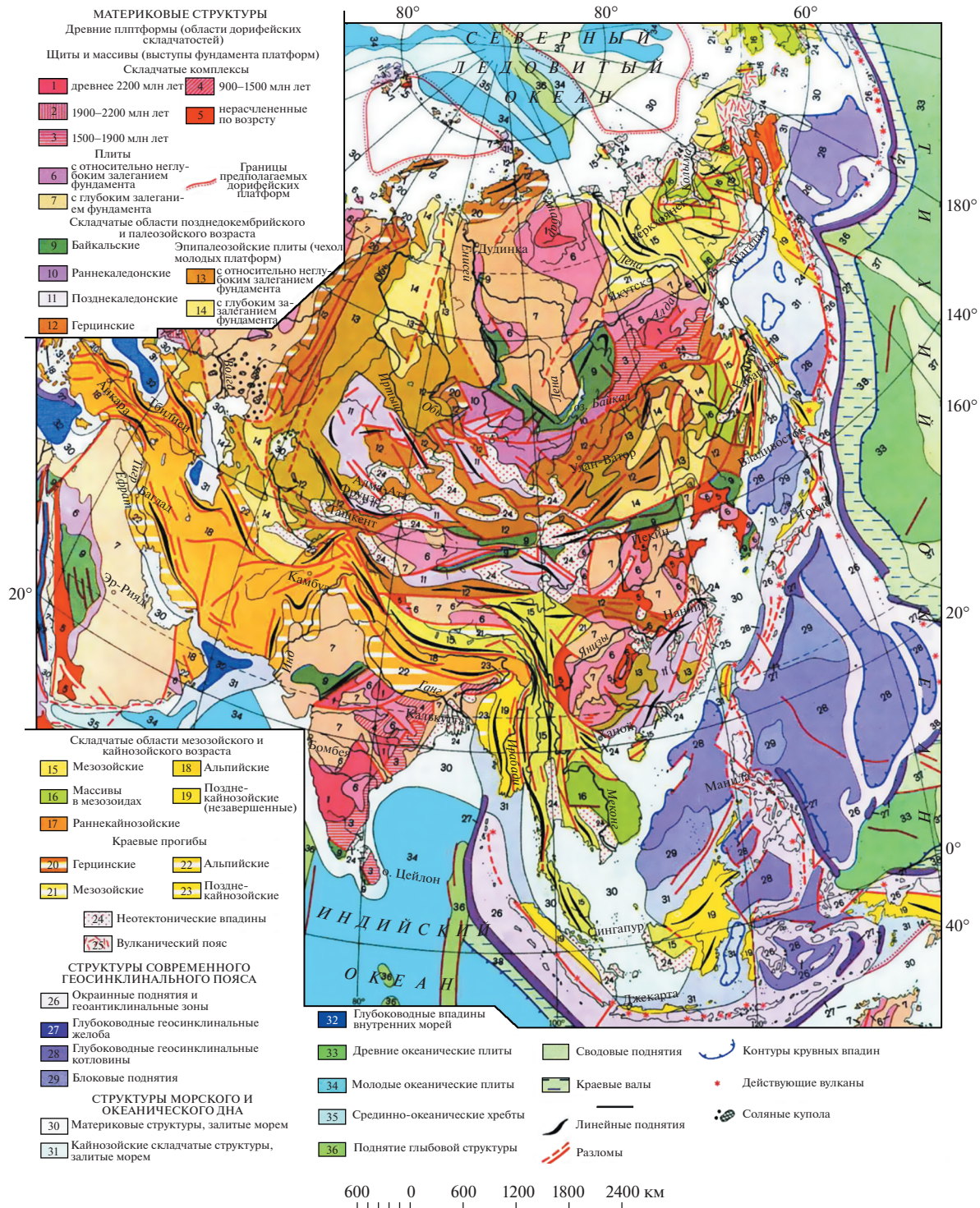


Рис. 4. Адаптация тектонической карты Евразии масштаба 1 : 5000000 [33] к масштабу 1 : 60000000 для Большой Советской Энциклопедии [5].

ский рифт и трансформные разломы [56], которые явились структурным выражением процессов океаногенеза, происходящих вдоль дивергентной границы между плитами. Остальное плитное пространство при этом рассматривалось как жесткое [16], с постепенным накоплением

осадков на спрединговом фундаменте с увеличением его возраста.

“Тектоническая карта Тихоокеанского сегмента Земли” [27], фрагмент которой показан в Приложении 1 (часть 1), была составлена с уче-

том новых элементов и представляет собой синтез континентальных тектонических структур с океаническими, включая переходные зоны. Структурные элементы вдоль Срединно-океанического хребта (СОХ) представлены двумя группами — структуры хребта и нарушающие его ортогональные разломные зоны, которые включают:

- оси рифтов;
- поднятия вдоль активных зон (аналог понятия флангов хребтов);
- линии простираения вдоль активных зон;
- разломные и шовные зоны, смещающие активные зоны;
- сбросы, надвиги и сдвиги.

Вне Срединно-океанического хребта выделены островные гряды, глубоководные желоба и гайоты. Указанные элементы определены по рельефу дна и в совокупности с другими геофизическими данными, обосновывающими их геодинамическую природу в рамках тектоники плит, формируют каркас тектонической легенды для океанов. Отдельными элементами легенды являются оси магнитных аномалий и изопакхиты мощностей осадков, залегающих на магматическом фундаменте. Не все эти элементы представлены на карте 1970 года, но они являются необходимыми для формирования содержания тектонической карты. Двадцать лет спустя магнитные аномалии позволяют сформировать возрастную модель спредингового фундамента. Их фрагментарное включение в карту явилось важной инновацией. На карте также показаны редкие точечные датировки пород, поднятых донным пробоотбором. Легенда карты содержит также раздел по талассократонам. В него включены крупные внутриплитные поднятия, связанные с вертикальными движениями и магматизмом. Это сводовые и глыбовые поднятия, ассоциированные с ними прогибы, краевые валы на океанических бортах желобов. Эти элементы в представленном на карте виде несут четкую геодинамическую нагрузку, связанную с обширным внутриплитным магматизмом, структурами вдоль бортов разломных зон и взаимодействием плит на конвергентной границе. Разработанный к 1970 г. набор элементов тектоники океанов, представленный на карте, стал рациональным синтезом собранных данных и теоретического обоснования их генезиса.

Аналогичное представление тектонического строения для всех океанов, включая Северный Ледовитый океан, было сделано в 1982 г. на карте (под редакцией Ю.Г. Леонова и В.Е. Хаина [25]) одновременно в двух масштабах — 1 : 15 000 000 и 1 : 45 000 000. Поскольку детализация тектонических элементов в обоих масштабах для океана практически одинакова, описание сделано на основе более мелкомасштабной версии. В легенде этой карты разломные зоны, смещающие Сре-

динно-океанический хребет, названы трансформными с вариантом для предположительных элементов, что уже окончательно закреплено в океанической терминологии с упрощением общей классификации видов глубоководных нарушений. Для глубоких разломных трогов введено отдельное обозначение приразломных впадин, не связанных с желобами. Осевая часть рифтовой зоны осталась без изменений в легенде, но в связи с развитием изученности Срединно-океанического хребта, ее рисовка стала более детальной. Поднятия активной зоны дивергентной границы Срединно-океанического хребта заменены на область плиоцен—четвертичных возрастов фундамента, которая совпадает с тем, что ранее было показано только по данным рельефа. Возрастная градация спредингового фундамента, сделанная по данным линейных магнитных аномалий [36], включена как необходимый элемент легенды тектонической карты. В соответствии с временными интервалами N_2-Q , P_3-N_1 , P_{1-2} , K_1 , K_2 , J_3 сделана возрастная цветовая классификация ложа океана. Эти интервалы достаточно велики и не показывают локальных особенностей аккреции магматического фундамента во времени, но показателен сам факт сплошной возрастной индексации при отсутствии детальных опробований вещества и его датировок. На внутриплитном пространстве карта показывает контуры абиссальных котловин и вулканические поднятия с индексацией возрастов, которые моложе возрастов фундамента, поскольку наложенный внутриплитный магматизм формировал эти поднятия после образования фундамента. Также новым элементом является выделение блоков океанической коры утолщенного типа и палеорифтовых осей, отмерших в результате локальных перескоков осей спрединга. Развитие легенды тектонических элементов океана вышло на уровень достаточности и оставалось в таком виде вплоть до появления спутниковых данных, которые дали развитию картирования новый импульс.

Данные спутниковой альтиметрии [48] имеют равномерную детальность до 1 : 10 000 000 и показывают такие новые особенности поля силы тяжести, отражающего рельеф дна и магматического фундамента, как:

- конвергенция пассивных частей трансформных разломов;
- увеличение числа трогов в зонах ундуляций пассивных частей разломов;
- косоориентированные по отношению к главным структурным элементам разломные зоны и трог;
- структуры типа пулл-апарт в пассивных частях трансформных разломов, заполненных осадочным чехлом;

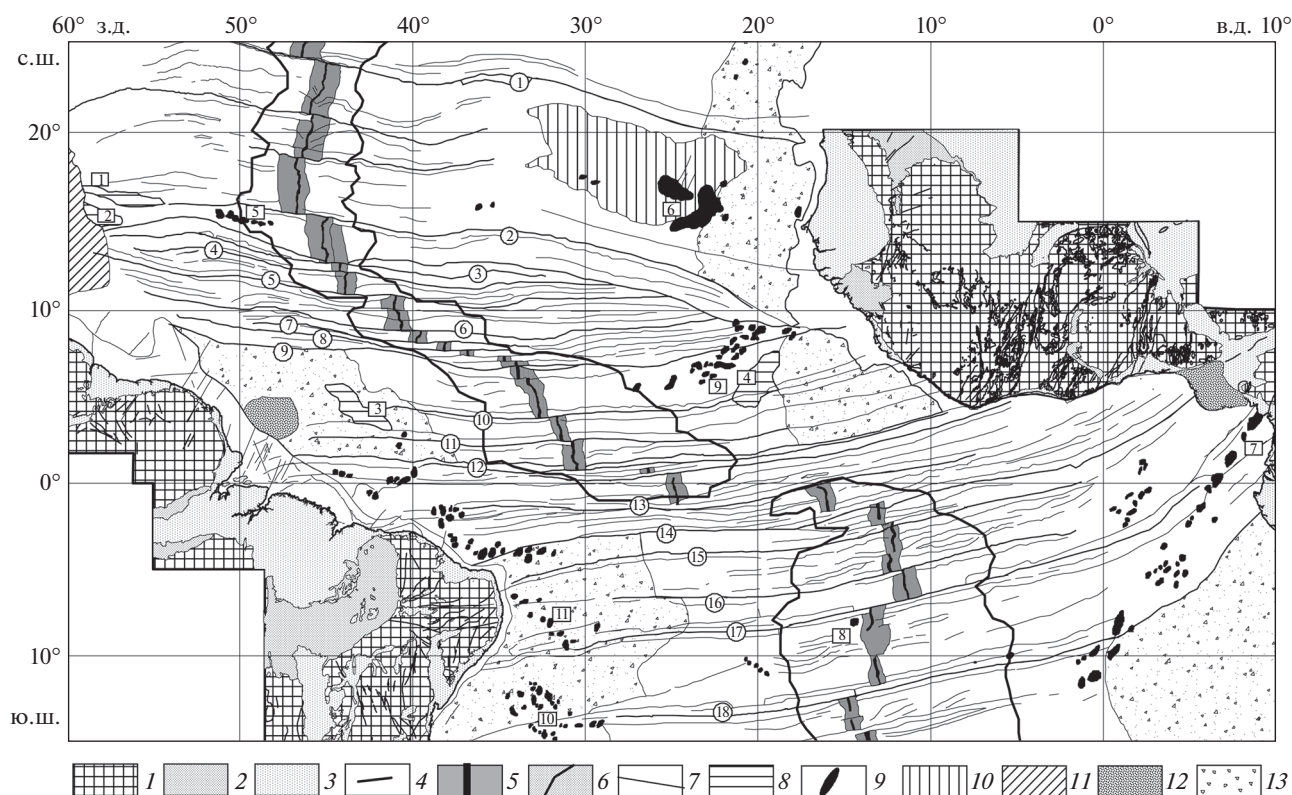


Рис. 5. Карта разломных структур Центральной Атлантики (по данным [13], с изменениями).

Показаны разломы (цифры в кружках): 1 – Кейн; 2 – Зеленого Мыса; 3 – Марафон; 4 – Меркурий; 5 – Вима; 6 – Архангельского; 7 – Долдрамс; 8 – Вернадского; 9 – 7°10' с.ш.; 10 – Страхова; 11 – Св. Петра; 12 – Сан-Паулу; 13 – Романш; 14 – Чейн; 15 – Шарко; 16 – Тетяева; 17 – Вознесения; 18 – Боде Верде.

Показано (цифры в квадратах): 1–5 – хребты и поднятия: 1 – Барракуда, 2 – Тибурон, 3 – Сеара, 4 – Сьерра-Леоне, 5 – Ресерчер; 6 – Острова Зеленого Мыса; 7 – Камерунская линия; 8 – о. Вознесения; 9–11 – группы подводных гор: 8 – Батиметристов, 10 – Байя, 11 – Пернамбуку.

1 – нерасчлененные выступы кристаллического фундамента континентальной коры (в том числе включают мавританиды в Африке); 2–3 – наложенные впадины: 2 – палеозойские, 3 – мезозойские–кайнозойские; 4 – разломы и простирающиеся основные структуры; 5–6 – Срединно-Атлантический хребет: 5 – рифтовая зона, 6 – фланги; 7 – разломы; 8–9 – поднятия: 8 – асейсмичные, 9 – вулканические острова и подводные горы, нерасчлененные; 10 – область интенсивных гравитационных аномалий (предполагаемая область миоценового магматизма); 11 – Барбадосская аккреционная призма; 12 – дельты; 13 – области ровного акустического фундамента

– многие другие структуры, достоверно выделяемые в конфигурации аномального поля.

Эти возможности привели к новым попыткам пополнения легенд карт новой системой элементов и их геодинамической интерпретации. Тектонические элементы, не находящие рационального объяснения в рамках общей теории, присутствуют на картах достаточно редко. Полное отображение всего разнообразия видимых линейных структур в фундаменте на примере Экваториального сегмента Атлантики дано в монографии А.О. Мазаровича [13]. Кроме того, в ней дается расширенная классификация [13] типов соотношения рифт–разлом, на основании которой в новом варианте рисовки элементов была сформирована дифференцированная тектоническая легенда (рис. 5), расширяющая классический набор элементов для глубокого океана. Об-

работка спутниковых данных позволила выявить все объекты, рисовка которых допустима в средних масштабах карт.

Интенсивный рост инструментальных измерений процессов-индикаторов активной тектоники привел к созданию особого вида карт, специализирующихся только на пространственном отображении параметров этих процессов. Обзор этих данных в виде карт можно найти на веб-сайте проекта Digital Tectonic Activity Map [39]. В нем, в частности, показаны определения векторов движения опорных пунктов наблюдений по данным GPS [42], сейсмичность по данным [53], скорости спрединга по данным [37], вулканизм, положения активных дивергентных и конвергентных границ плит, а также многое другое. Эти данные напрямую не формируют отображение тектонических элементов структур, но они актив-

но используются в интерпретации современных очертаний фрагментированной на блоки коры и верхней мантии, обладающие подвижностью друг относительно друга.

По мере накопления данных по аномальному магнитному полю, выделению и индексации в нем линейных магнитных аномалий, возрастная классификация океанического фундамента становилась все более детальной. Последней версией этой классификации является работа [47]. Она дополнена электронным приложением, содержащим цифровой слой значений возрастов на все акватории, где установлены магнитные аномалии со спрединговой линейной структурой. Этот слой используется во многих работах, где возраст фундамента является одним из анализируемых факторов. Следует отметить, что, несмотря на развитие информационного обеспечения, карты с тектоникой дна океанов стали содержать значительно упрощенную рисовку структур, включающую возрастную классификацию, отененный рельеф, линии трансформных разломов без разделения на типы и положение оси Срединно-океанического хребта [52]. Формально приводимое информационное содержание во фрагменте карты [52] отражает современный уровень инструментальной изученности океана (см. Приложение 1, часть 2). По существу в подобной рисовке отсутствует обоснованная интерпретация генезиса выделенных структур, которые более разнообразны, чем первичные формулировки тектоники плит, касающиеся основных тектонических элементов дна.

Важным шагом вперед в понимании и включении в легенду тектонической карты структурных элементов, видимых по данным альтиметрии, является выделение таких объектов, как представлены Matthews et al. в работе [46] (см. Приложение 1, часть 2):

- разломные трог, не параллельные главным трансформным нарушениям;
- внутриплитные поднятия и цепочки гор по новым данным батиметрии;
- косоориентированные по отношению к главным структурным элементам разломные зоны.

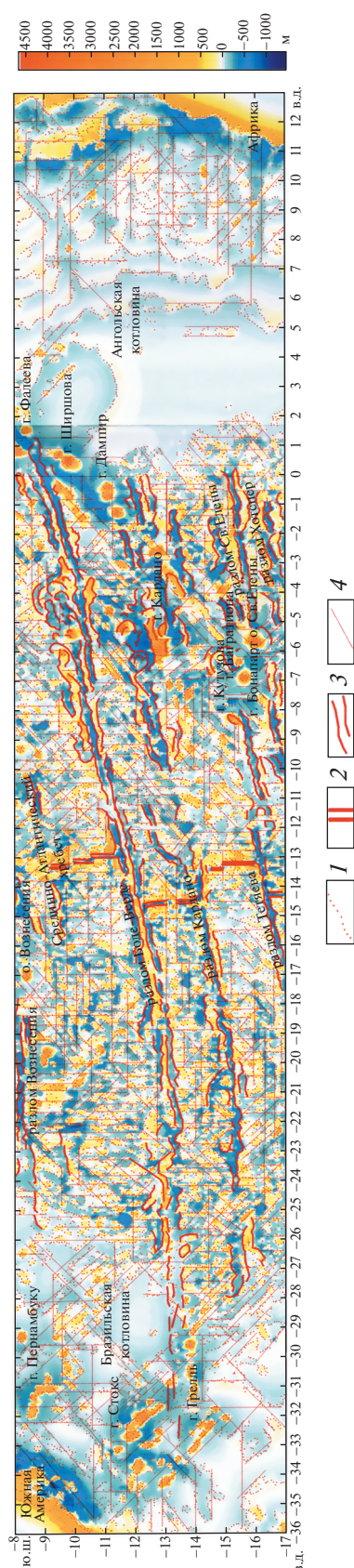
Проведенный Matthews et al. в работе [46] линейноментный анализ спутниковых данных обосновал введение понятия дискордантных зон — нарушений океанического фундамента, не конформных главным тектоническим элементам: рифтовым сегментам Срединно-океанического хребта и трансформным разломам.

Дискордантные зоны могут иметь различный угол относительно главных структурных элементов, быть извилистыми и не совпадать с общим трендом спрединга. Новые цифровые данные батиметрии, полученных на основе спутниковых измерений [49], а также представления о

наличии нисходящего от оси Срединно-океанического хребта тренда рельефа, связанного с остыванием литосферы, позволили Matthews et al. [46] рассчитать остаточный рельеф как результат высокочастотной пространственной фильтрации, из которой удалена компонента связанная с общим трендом. Этот подход к обработке данных рельефа дна и построению на его основе схемы тектонических элементов известен давно и использовался еще в работе [1] для составления карт вдоль трансокеанских геотраверсов (рис. 6). В результате фильтрации был сформирован информационный слой, содержащий горы и более крупные внутриплитные поднятия, являющиеся наложенными вулканическими образованиями с различной продуктивностью магматизма. Эти объекты также включены в легенду тектонической карты [46], но без датировок возраста, более молодого, чем возраст фундамента.

Обновленная версия Тектонической карты Тихоокеанского региона масштаба 1 : 17 000 000, изданная Геологической службой США [51], составлена с учетом последних данных по рельефу, аномальным геофизическим полям и тектонике континентального обрамления (см. Приложение 1, часть 3). Структура ее легенды для океанической части принципиально не отличается от тех вариантов, которые были разработаны ранее. Конфигурация основных тектонических элементов — разломной сети, рифтовой долины, контуров гор и поднятий — представлена в детализированном виде, соответствующем современному уровню данных съемок. Существенно дополнена возрастная классификация фундамента и возрастов внутриплитных магматических образований, контуры которых показаны оттенком соответствующего возрастного класса фундамента. Кроме того, для наложенных магматических построек введен крап, отражающий состав продуктов магматизма.

Прогресс в изучении Арктики, связанный с целевыми исследованиями по проблеме расширения внешней границы континентального шельфа, сопровождался появлением новой концепции тектонического развития Арктики, основанной на развитии идей Л.П. Зоненшайна и Л.М. Натапова о докембрийском палеоконтиненте Арктида [7]. Это привело к созданию тектонических карт-концепций, на которых с помощью специального отображения крупных провинций, тектонических и геоморфологических элементов в мелком масштабе показана обновленная трактовка тектонического строения и развития региона. Новизна карты в океанической части региона состоит в появлении древних блоков с континентальной корой. Кроме того, отметим, что новая концепция базируется также на данных сейсмо-томографии [7], из которых получена наиболее



детальная модель распределения вариаций скоростей верхней мантии для Арктического региона.

Значительным достижением в международной научной кооперации стал проект с участием всех арктических государств по созданию тектонической карты Арктики масштаба 1 : 10000000 [28] (см. Приложение 1, часть 4). Легенда карты является результатом многолетней согласованной работы всех участников и в общих чертах отражает синтез различных точек зрения на тектоническое районирование региона. Рисовка тектонических элементов в молодом Евразийском бассейне соответствует классическому набору элементов рифтовых и трансформных структур. Кроме того, введена линия границы континент–океан. Кайнозойский океанический бассейн показан с возрастной классификацией фундамента и осями линейных индексированных магнитных аномалий. Для районов с магматизмом повышенной продуктивности и обнажений мантийных перидотитов введен крап, отражающий состав пород. В Амеразийском бассейне и шельфовых бассейнах введена градация мощностей осадочного чехла в разных областях по возрасту древнейших комплексов, залегающих в основании разреза. В частности, Амеразийский бассейн показан как область с осадочным разрезом, начинающимся с нижней юры. Только небольшая часть Канадской котловины содержит разрез, начинающийся с верхней юры, и он оконтурен как континентальный блок. Показаны подводные горы и отдельные центры положения мигрирующего мантийного плюма. Необходимо отметить, что использованный для глубоководной части Арктики принцип показа осадочного чехла с различным возрастом в основании бассейнов был опробован в тектонических картах под редакцией В.Е. Хаина и Н.А. Богданова для шельфовых морей Российской Арктики во второй половине 1990-х годов.

РЕЗУЛЬТАТЫ СРЕДНЕМАШТАБНОГО КАРТИРОВАНИЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОМ СЕГМЕНТЕ АТЛАНТИКИ

Спутниковые данные и полученный по ним рельеф дна с равномерной для среднего масштаба детальностью кроме классического набора структурных элементов позволяют выявить следующие особенности структур океанского дна:

— конвергенция пассивных частей трансформных разломов;

Рис. 6. Анголо-Бразильский геотраверс.

Структура высокочастотного рельефа дна (по данным [1], с изменениями).

1 — положение максимальных значений градиента рельефа; 2 — рифтовая долина; 3 — зоны трансформных разломов; 4 — внутриплитные нарушения

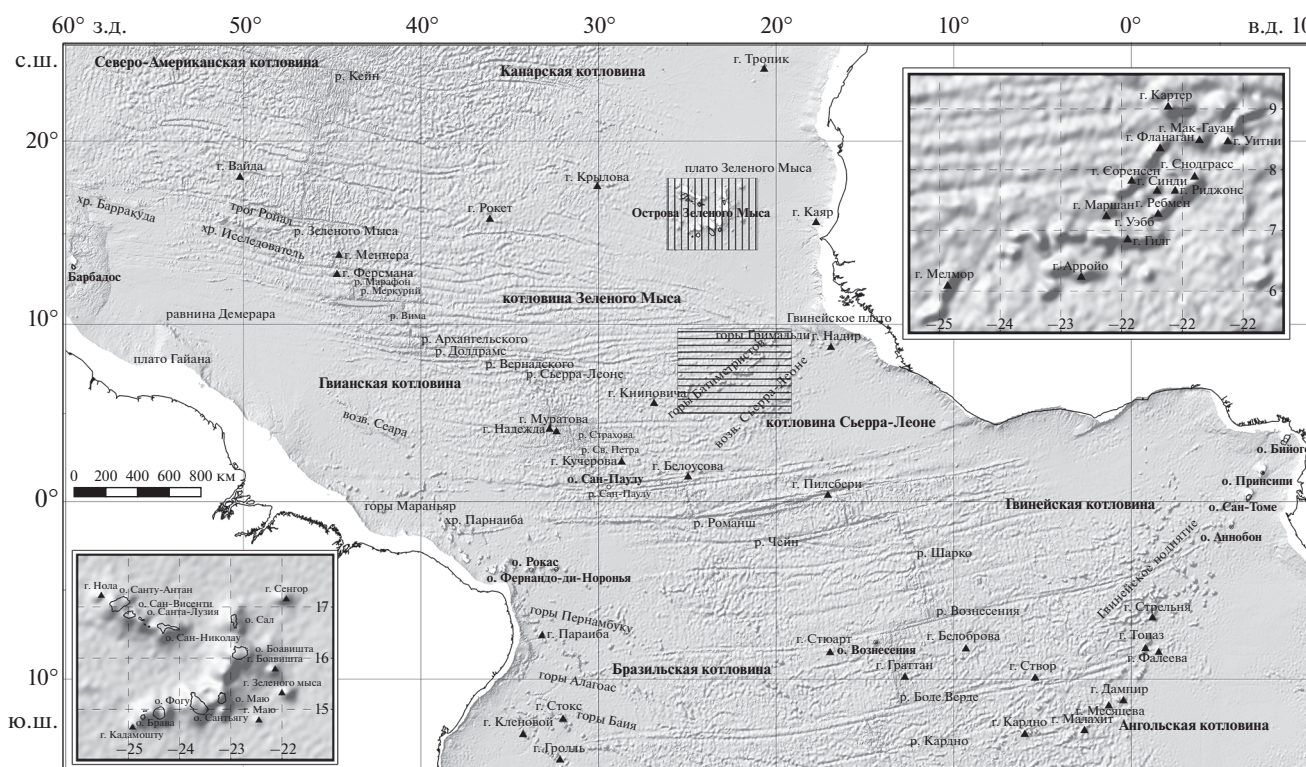


Рис. 7. Топонимика Экваториального сегмента Атлантики.

Общая топографическая основа построена по данным GEBCO, 2014 [40].

Показаны (врезки) районы островов Зеленого Мыса и гор Батиметристов.

Показаны (треугольник) горы, названия которых утверждены подкомитетом GEBCO по названиям форм подводного рельефа.

— увеличение числа трогов в зонах ундуляций пассивных частей разломов;

— косо-ориентированные по отношению к главным структурным элементам разломные зоны и трог;

— структуры типа пулл-апарт в пассивных частях трансформных разломов, заполненных осадочным чехлом.

Перечисленные особенности достоверно выделяются в конфигурации рельефа, полученного по исходным данным, имеющим гравитационную природу [49], и поэтому позволяющую трассировать структуры фундамента под осадочным чехлом. Кроме того, не все эти элементы находят рациональное объяснение и адаптацию к общей геодинамической теории тектоники плит. Тем не менее, их надежное выделение на основе современных данных обязывает включать новые тектонические элементы в легенду карт. Как было показано в [23], непротиворечивая интерпретация их генезиса в рамках тектоники плит возможна при допущениях о блоковом и расслоенном строении литосферных плит [30], которое было введено в основные постулаты современной концепции глобальной геодинамики. В работах [22, 23]

предложена карта элементов тектоники дна Экваториального сегмента Атлантики, полученная в результате векторизации рельефа дна и аномалий силы тяжести в масштабе 1 : 35000000. Кроме того, она содержит ряд элементов, полученных на основании анализа гравитационных аномалий Буге и магнитного поля. От предыдущих карт тектоники дна она отличается существенно более дифференцированной легендой типов линейментов, описанных в литературе и добавленных в картографическое отображение. Тектоника дна, основанная на интерпретации рельефа, должна содержать его отображение на карте, но в масштабе 1 : 35000000 показать его детали, по которым проводится рисовка новых элементов, практически невозможно. Эта задача решается реализацией карты в масштабе 1 : 10000000, который позволяет показать детали использованного рельефа, построенного по данным международного проекта General Bathymetric Chart of the Oceans [40, 55]. Названия форм подводного рельефа в Экваториальном сегменте Атлантики приведены на рис. 7.

Главные тектонические элементы — рифтовые сегменты оси Срединно-Атлантического хребта (САХ), одиночные трансформные разломы и от-

дельно их активные зоны между рифтовыми сегментами — выделяются на всех вариантах интерпретации тектоники океанического фундамента (см. Приложение 1, часть 5, часть 6). Неоднородное строение его кровли четко определяется по рельефу дна [40, 55], который является топографической основой карты (см. Приложение 1, часть 5). Общий геодинамический смысл этих элементов не меняется с периода становления тектоники плит, являясь дивергентной границей между плитами, вдоль которой происходит сегментированная трансформными границами горизонтальная аккреция кристаллической коры за счет аккумуляции продуктов базальтового магматизма. Рисовка главных элементов и интерпретация генезиса новых элементов уточняется по мере развития детальности покрытия дна съемочным рельефом и потенциальными полями и теоретических разработок в области геодинамики [30].

Анализ главных тектонических элементов в координатах длин сегментов Срединно-Атлантического хребта длин активных частей трансформных разломов показал [23], что короткие (от 20 до 55 км) рифтовые сегменты Срединно-Атлантического хребта и смещения по разломам от 10 до 80 км образуют компактную группу, резко отличающуюся по этим характеристикам от других элементов. Она может быть выделена в отдельный вид тектонических элементов — сдвоенные и полиразломные (три и больше) разломные системы (см. Приложение 1, часть 5). Эти системы проявлены над “холодными” мантийными блоками [23] и в зонах с большим латеральным смещением сегментов Срединно-Атлантического хребта. На карте они показаны разными знаками (см. Приложение 1, часть 5). Две самые крупные полиразломные системы обрамляют южную часть Экваториального сегмента Атлантики, внутри которой конфигурация главных элементов близка к классической, при этом в обрамлении сегмента Экваториального сегмента Атлантики возникает значительное (от 300 до 900 км) смещение сегментов Срединно-Атлантического хребта. Зона Срединно-Атлантического хребта, выделяемая по изобате 4000 м, имеет тенденцию к увеличению от 300–400 км в северной части Экваториального сегмента Атлантики до 700–800 км в южной части Экваториального сегмента Атлантики (см. Приложение 1, часть 5). Этот тренд хорошо согласуется с данными скоростей спрединга [47], по которым они увеличиваются на юг от Эйлерова полюса Африканской и Американских плит, находящегося приблизительно на 60° с.ш.

Отдельным знаком на карте показаны разломы–“отшельники”, согласно определению [13] (см. Приложение 1, часть 5). Эти структуры не смещают ось Срединно-Атлантического хребта и не имеют пересечения с осью хребта. Генезис этих структур не ясен, но имеется предположение [23],

согласно которому их происхождение можно объяснить выравниванием скоростей спрединга в тех случаях, когда на флангах трансформного нарушения эти скорости отличаются. Выравнивание скоростей приводит к исчезновению разлома, разделяющего блоки с разной скоростью, и к дополнительным деформациям новообразованной коры: растяжению на более медленном блоке и сжатию на более скоростном. Это предположение хорошо иллюстрировано анализом карты полускоростей спрединга [23] для западного фланга Срединно-Атлантического хребта на широте около 15° ю.ш., где в результате разницы скоростей, достигавшей 60% в области изохроны 16 млн лет, произошло выравнивание скоростей, и для изохроны 4 млн лет разница отсутствует.

Особый интерес вызывают “слепые трог” (по определению А.О. Мазаровича [13]), которые представляют собой ответвления от одиночных трансформных разломов, расположенные параллельно последним (см. Приложение 1, часть 5), параллельная ветвь в терминах карты). Они имеют пространственную ориентацию, конформную основным разломам, от которых ответвляются, и их происхождение неясно, наблюдается следующее:

- Симметричное проявление ответвлений по обе стороны Срединно-Атлантического хребта, что указывает на происхождение данных форм, связанное с вариацией условий в осевой зоне хребта. Формирующим фактором может быть вдольосевое перетекание вещества [2], которое, кроме перескоков оси Срединно-Атлантического хребта в пределах сегмента, может привести к смещению разломных ограничителей сегмента хребта и вырождению сегментирующего трансформного элемента. Происходит объединение сегментов рифта, ранее разделенных разломами, и сокращение числа разломов. Большинство ответвлений ориентированы точкой стыковки в сторону Срединно-Атлантического хребта, что указывает на сокращение числа сегментов во времени. Есть исключение, расположенное на северном борту разлома Сан-Паулу, в котором сегментация с течением времени усложнилась — произошло появление ветви около 60 млн лет.

- Несимметричное расположение параллельных ветвей. Этот элемент проявлен в северной части Экваториального сегмента Атлантики между полиразломной системой Долдрамс–Вернадского–7°24' с.ш.–Богданова–6°52' с.ш. и разломом Вима. Особенностью этих ответвлений является удвоение общего числа трогов по сравнению с обычными ответвлениями, смещающими сегменты Срединно-Атлантического хребта. Точки стыковки расположены в районе ундуляции пассивных частей обычных разломов, проявленных во всей северной Атлантике в возрастном интервале от ~50 до ~70 млн лет [47], во время которого

происходил отскок Эйлера полюса и формирование недоразвитого рифта моря Лабрадор. Поскольку известная по данным [34] перестройка ориентации разлома Вима, расположенного в этом сегменте, увязывается по времени с формированием Антильской дуги и ее встречным к оси Срединно-Атлантического хребта продольным воздействием на данный сегмент Атлантики и формированием кинк-банд структуры, можно предположить, что отмеченная система ответвлений разломов является следствием сопутствующих деформационных процессов.

Дискордантные зоны, введенные в тектоническую легенду в работе [46], выделены в отдельный элемент тектонической карты. Они также обладают свойством симметрии относительно Срединно-Атлантического хребта, но имеются несимметричные варианты. Большинство этих зон симметричны и расположены между трансформными разломами, не имеющими изгибов (см. Приложение 1, часть 5). Это указывает на отсутствие связи дискордантных зон с общим вектором спрединга, и на то, что их происхождение, также как и в случае с симметричными параллельными ветвями, связано с вдольосевыми процессами внутри сегмента. Другим фактором, который может сформировать подобный структурный рисунок, является различие скоростей спрединга между сегментами плит, разделенными трансформными разломами.

Несимметричные дискордантные элементы образуют систему, ориентированную к трансформным разломам под углом $\sim 45^\circ$ (см. Приложение 1, часть 5). Северо-западное направление является преимущественным [14]. Нарушения, ориентированные под данным углом, имеющие длинную и прямую конфигурацию, выделены в отдельный элемент тектонической карты. Ориентация под одинаковым углом к рифту и разломам указывает на реализацию смещений вдоль напряжений скола. Это указывает на упругое состояние литосферы на больших (до 1000 км) расстояниях. Таким образом, литосфера обладает двойственной природой, являясь упругой средой и блоковым комплексом одновременно. Длинные нарушения косо ориентации выделены на абиссали вдали от флангов Срединно-Атлантического хребта, где литосфера является более холодной по сравнению с рифтовой зоной.

Дополнительным элементом карты являются нетрансформные смещения оси Срединно-Атлантического хребта, которые представляют собой зоны смещения сегментов рифта без трансформного разлома (см. Приложение 1, часть 5). Причиной возникновения этих структур является наличие контрастно низкой вязкости локальных участков мантии, возникающей при наличии аномально прогретых участков, выявляемых по

данным сейсмотомографии, либо при наличии зон серпентинизации ультраосновных пород [19]. Нетрансформные смещения часто комбинируются с нарушениями северо-западной ориентации. Многочисленные драгировки пород дна, проведенные ГИН РАН (г. Москва, Россия) [13] и исследователями других институтов, помимо базальтов и габбро показали широкое присутствие серпентинизированных ультраосновных пород, что подтверждает версию происхождения нетрансформных смещений.

В легенду карты внесены палеооси Срединно-Атлантического хребта, имеющие в пределах планшета предполагаемый генезис (см. Приложение 1, часть 5). Поскольку по данным анализа аномального магнитного поля возможны кратковременные перескоки оси на небольшие расстояния в пределах первых магнитных хронов [2], существует вероятность образования несимметричных палеоосей на любом из флангов Срединно-Атлантического хребта. Получены достоверные данные по крупным в зависимости от удаления перескокам на переход оси из хребта Эгир в хребет Кольбенсей (Северная Атлантика) и на переход оси на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта к югу от разлома Агульяс. Остальные предполагаемые палеооси выделяются по морфологии рельефа, сходной с морфологией Срединно-Атлантического хребта, и, в ряде случаев, — по форме магнитных аномалий.

Еще одним элементом тектоники глубоководной части являются впадины пулл-апарт, примыкающие к пассивным частям трансформных разломов вблизи континентальных окраин (см. Приложение 1, часть 5). Конфигурация этих впадин, имеющая в ряде случаев ромбовидную форму, читается по аномалиям гравитационного поля в свободном воздухе [23]. Наиболее вероятными механизмами их возникновения являются:

- разница скоростей спрединга в сегментах между разломами;

- смещение по пассивным частям разломов.

Большинство впадин расположено в пределах 200-мильной зоны прибрежных государств, но ромбовидная структура к северу от возвышенности Сьерра-Леоне в международных водах была пройдена маршрутным геофизическим промером в 23-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” (ГИН РАН, г. Москва, Россия) в 2006 г. [20] (см. Приложение 1, часть 5). На южном борту впадины были обнаружены деформационные надвиговые структуры южной вергентности, для возникновения которых необходимо наличие субмеридиональной компоненты движения масс. Обеспечить компоненту могут смещения в следующих вариантах [57]:

- дифференцированное по скорости субмеридиональное смещение блоков плит;

– субширотное сдвиговое смещение вдоль не-прямой траектории разрыва, формирующее так называемые изгибы торшения.

Поскольку инструментальные данные по скоростям движения на акватории отсутствуют, то первый вариант обосновать достаточно сложно, но второй вариант, основанный на широтном смещении вдоль не прямой траектории, имеет веские основания. Надвиговые структуры субмеридиональной вергентности обнаружены вдоль борта другой впадины, выявленной по альтиметрии вдоль пассивной части разлома Шарко около дельты р. Нигер [35] (см. Приложение 1, часть 5).

Ряд единичных элементов в пределах планшета показаны отдельными знаками (см. Приложение 1, часть 5). Таким элементом является Антильская дуга. Граница плит, проходящая по западной части разлома $15^{\circ}20'$, формирует со Срединно-Атлантическим хребтом тройное сочленение, на что указывают многочисленные данные разной природы (GPS, сейсмичность и т.д.). Уступ Кабо-Верде показан отдельным знаком, как уникальная структура, являющаяся восточным продолжением разлома Меркурий, вдоль которой происходит утыкание несимметричных параллельных ответвлений северной части Экваториального сегмента Атлантики. Данное явление было названо конвергенцией пассивных частей трансформных разломов и в данный момент не имеет четкой геодинамической интерпретации.

На карте шельф показан по изобате 400 м, поскольку ряд шельфовых областей имеют более глубокий уровень, чем 200 м. В масштабе карты в плане положение изобаты 400 м на склоне в практически не отличается от изобаты 200 м. Подводные горы и хребты показаны по превышению высокочастотного остаточного рельефа GEBCO на 30-секундной сетке над сглаженным рельефом (аналог цоколя) более 1000 м. Горы и хребты отображены изобатой +1000 м по остаточному рельефу. Из карты следует, что большая часть гор сгруппирована в цепочки, ориентация которых совпадает с пассивными частями трансформных разломов или нарушениями, имеющими ориентацию под углом $\sim 45^{\circ}$ относительно главных структурных элементов.

Перечисленные новые тектонические элементы, вынесенные на карту в дополнение к главным элементам, имеющим классическое объяснение, могут интерпретироваться как результат действия следующих факторов, расширяющих диапазон сил и процессов, влияющих на тектогенез [23]:

– вдольосевое перетекание прогретого вещества, приводящее к образованию дискордантных зон и вырождению сегментации Срединно-Атлантического хребта трансформными разломами или появлению дополнительной сегментации;

– взаимодействие блоков океанической литосферы на разных флангах трансформных разломов, включая пассивные части, возникающее из-за разной скорости спрединга в блоках;

– возникновение дополнительной разломной сети из-за изменения режима вращения Земли и кривизны поверхности;

– дополнительное смещение северной части Экваториального сегмента Атлантики при боковом воздействии со стороны Антильской дуги.

РАЗВИТИЕ СРЕДНЕМАСШТАБНОГО КАРТИРОВАНИЯ В ЭКВАТОРИАЛЬНОМ СЕГМЕНТЕ АТЛАНТИКИ

Современный уровень изученности возраста океанического фундамента, полученного из интерпретации индексированных магнитных аномалий [47] и распределения мощности осадочного чехла на разновозрастном спрединговом фундаменте, полученного преимущественно по данным непрерывного сейсмического профилирования [50], позволяет создать карту новых тектонических элементов океана, аналогичную картам шельфов и Арктики (см. Приложение 1, часть 6). Дифференциация возраста фундамента оформлена в полупрозрачном режиме поверх оттененного рельефа дна, чем достигается одновременное воспроизведение его неоднородностей и возрастных значений коры, сформированной в зоне аккреции. При отсутствии осадочных пород рельеф дна соответствует кровле кристаллического фундамента. В областях с осадочным чехлом тектонические элементы выделены по данным альтиметрии, которая чувствительна к конфигурации границы в подошве чехла с контрастом плотностей между осадками и фундаментом. Благодаря этой информации топографическая основа для классических и новых тектонических элементов дна приближается к той информационной нагрузке, которая является нормой для континентов и шельфов (см. Приложение 1, часть 6). В силу ярко выраженного возрастного градиента спредингового фундамента от континентальной окраины к дивергентной границе вводить для осадочного чехла отдельную дифференциацию по возрасту фундамента бассейна не имеет смысла. Мощность осадков показана изопахитами поверх комбинированной топографической основы из рельефа и возраста, что вполне когнитивно отражает всю пространственную информацию.

Низкая плотность прямого опробования пород дна по сравнению с континентальными структурами делает невозможной датировку структур дна аналогично наземной. Равномерное покрытие фундамента возрастной классификацией сделано по непрямым данным магнитной съемки, откалиброванных в отдельных редких

точках данными глубоководного бурения в случаях достижения скважиной кровли фундамента. В глубоководной части океана сформированы наложенные на первичный фундамент структуры, имеющие более молодой возраст. Такими структурами являются вулканические постройки внутриплитного магматизма, встречающиеся в виде обширных поднятий, островов и отдельных гор, и зоны внутриплитных деформаций, выявляемые по складчатым образованиям и дизъюнктивным нарушениям осадочного чехла.

Наложённый внеосевой магматизм в Экваториальном сегменте Атлантики обусловлен наличием локальных ответвлений суперплюмов и их подхода к поверхности за пределами оси спрединга. В случае Исландии и Азорских островов ветви плюма пересекаются со Срединно-Атлантическим хребтом. Когда опробование пород достаточно полное для того чтобы охарактеризовать структуру в целом, ее возраст может быть обозначен контуром с цветовой кодировкой, как это сделано на карте Тихого океана [51]. Другим способом при недостаточном числе опробований возрастов наложенных магматических построек может быть нанесение точек с цифрами. Для Экваториального сегмента Атлантики использовался этот метод (см. Приложение 1, часть 6). Значения возрастов были взяты из базы данных [41] и экспедиционных работ ГИН РАН (г. Москва, Россия) [21]. Этот метод максимально отдален от привнесения интерпретации в рисовку карты и отображает на ней исключительно фактические данные. Последние практически всегда являются неполными, но этот подход не нарушает объективности.

Более сложной является проблема определения возрастов внутриплитных деформаций, наложенных на первичный фундамент, и их пространственного распределения. Поскольку эти структуры определяются по сейсмоакустическим данным наборных маршрутных и полигонных промеров, информация об обнаруженных деформациях неравномерна, и часто обширные деформированные области пересечены единичными разрезами. Оконтуривание этих областей может быть осуществлено в комбинации непрерывного сейсмического профилирования и спутниковой альтиметрии, но в настоящее время методика еще не разработана. По данным [23], в Экваториальном сегменте Атлантики выявлены различные виды деформаций, выделенные на основании характерной конфигурации волнового поля в осадочной толще:

- штамповые складки;
- структуры протыкания,
- чешуйчато-надвиговые системы взбросов;
- горизонтальные и вертикальные акустические осветления сейсмической записи;
- сбросовые нарушения.

Большая часть этих структур связана с положительными вертикальными движениями блоков коры и верхней мантии, покрытых осадочным чехлом в до-деформационный период. Эти движения интерпретируются как результат разуплотнения и увеличения объема локальных зон в верхней мантии при серпентинизации, что создает возможность разрабатывать методику выявления молодых внутриплитных деформаций по гравитационному и магнитному полям в обязательной комбинации с прямыми данными непрерывного сейсмического профилирования.

Кроме способа выявления деформационных структур существует проблема их датировки. Редкая сеть глубоководных скважин даже в том случае, когда рефлекторы зон деформаций привязаны пробуренному разрезу, не позволяет осуществить надежную корреляцию рефлекторов на расстояния сотни и тысячи километров через прерывистое осадочное наполнение неровностей акустического фундамента. Таким образом, в основу оценки возраста деформационных структур заложено:

- сравнение общей конфигурации волнового поля с аналогами в районе скважин;
- сравнение с рефлекторами, привязанными к общей картине седиментационных циклов на акваториях, по [43];
- выявление степени размыва деформированных слоев;
- перекрытие продуктами разрушения отражающих границ в обрамлении структуры;
- определение возраста рефлекторов в кровле деформационных структур по скоростям осадконакопления;
- определение мощности слоев по сейсмическому разрезу.

Перечисленные подходы при редкой сети наблюдений, наличии спутниковых данных и отсутствии прямого датирования предстоит развивать для создания полного картографического оформления тектоники наложенных внутриплитных структур, ставшего классическим в тектонических картах.

ВЫВОДЫ

1. Основой среднемасштабного тектонического картирования глубоководной части океанов в XX в. являлся синтез данных по рельефу дна и теоретической геодинамической модели, трактующей генезис наблюдаемых структур с позиций фиксизма и впоследствии — мобилизма. После окончания Второй Мировой войны бурный рост интереса к изучению океанов привел не только к развитию экспедиционных исследований рельефа дна океанов, но также к развитию исследований Земли из космоса и получению данных по

геолого-геофизическим характеристикам с использованием спутников, имеющих равномерное покрытие глубоководных пространств в средних масштабах от 1 : 1000000 до 1 : 15000000. Это привело к обоснованному введению новых тектонических элементов в легенды карт и отчасти приблизило их структурную и возрастную насыщенность к материковым тектоническим картам.

2. До 1970 года развитие тектонического картирования океанов шло по пути прямого сближения состава легенды карт с сухопутными аналогами, поскольку их фактурная основа состояла преимущественно из немногочисленных точечных промеров рельефа дна, которые интерпретировались на основе фиксизма и геосинклинальной теории. К концу этого периода интерпретация океанских данных на основе теории мобилизма приобрела окончательное признание в силу доказанности основных положений и резкого увеличения количества инструментальных данных, на которые опирались эти доказательства. Состав легенды тектонических карт океанов приобрел отличающиеся от суши элементы, свойственные только океанам.

3. К 1970 году обширный геологический и геофизический материал, полученный в рамках национальных и международных программ, а также его интерпретация на основе теории тектоники плит окончательно утвердили специфическую океаническую легенду тектонических элементов, которые были обоснованы многими теоретическими разработками, радикально изменившими концепцию глобальных процессов тектогенеза и тектоники океанов. Очевидный успех имели картографические проекты, представляющие наземно-морской синтез, учитывающий новейшие достижения в области геологии и геофизики океанов.

4. Построение тектонических карт с новым набором элементов легенды было распространено на акватории всех океанов, даже малоизученного Северного Ледовитого океана.

5. К началу 1980-х годов была сформирована глобальная тектоническая основа океанов, которая вошла как составная часть в тектонические карты мира. Кроме структурной компоненты тектоники дивергентных границ океанических плит — рифтовых и трансформных элементов — была сформирована возрастная градация океанического фундамента, основанная на индексации линейных магнитных аномалий, и первичная классификация более молодых, наложенных на фундамент внутриплитных структур.

6. Введение в практику картирования интерпретации данных спутниковой альтиметрии, имеющих в отличие от набортных съемок сплошное и равномерное покрытие в средних масштабах детальности, дало новый импульс в картировании дна и структур фундамента даже в тех обла-

стях, где они покрыты осадочным чехлом и не выделены в рельефе дна. Это привело к формированию новой генерации карт, на которых модельные структурные линии имеют значительную обоснованность в отличие от интерпретаций, выполненных по неравномерным эхолотным промерам. С конца 1980-х годов начался принципиально новый этап накопления данных инструментальных измерений и попыток их рациональной адаптации в теоретическую геодинамическую модель.

7. Современный набор инструментальных измерений обозначил этап выделения в структуре океанической коры тектонических элементов, неизвестных ранее — разнообразных форм активных и пассивных частей трансформных разломов, дискордантных зон, подводных гор и многих других, которые не фиксировались при неравномерной набортной съемке. Развитие спутниковых покрытий сформировало новый подход к поиску объектов для исследований с судов и перевело процесс получения априорных данных в зону, четко улавливаемую приборами, хотя получаемые данные несколько уступают в детальности судовым приборным комплексам. Возросло количество донных опробований коренных пород и их датировок, что позволило на картах многих регионов Мирового океана к структурным построениям добавить возрастную и вещественную маркировку наложенных структур.

8. Новые тектонические элементы, установленные по современным данным, — зоны конвергенции трансформных разломов, сдвоенные и полиразломные системы, нетрансформные смещения оси Срединно-Атлантического хребта, ветвящиеся разломы и разломы-“отшельники”, разломы косой ориентации относительно главных элементов, одиночные горы и группы гор, впадины с конфигурацией пулл-апарт в пассивных частях разломов — обретают рациональную интерпретацию в рамках плито-тектонической геодинамической модели при допущении о блоковом и расслоенном строении движущихся по поверхности вращающегося сфероида плит.

9. Информационная насыщенность тектонической карты, составленной по новым данным для Экваториального сегмента Атлантики, в высшей степени диктует увеличение масштаба тектонической карты до 1 : 10000000. При этом становится возможным отображать все детали топографической основы, по которой была проведена интерпретация. Необходимость отображения на карте помимо детального рельефа данных возрастов фундамента, отдельных гор, структуры осадочного чехла и многих других параметров, используемых для тектонической интерпретации, приводит к созданию серии карт с аналогичным

актуализированным набором тектонических элементов, но с разными топографическими основами.

10. В наши дни нерешенными проблемами в составлении среднемасштабных тектонических карт глубоководной части океана являются выявление, оконтуривание и датировка внутриплитных деформаций, определяемых по конфигурации осадочного чехла в отраженных сейсмических сигналах и недостаточное опробование коренных пород, наложенных на первичный фундамент внутриплитных магматических построек.

Благодарности. Авторы благодарны рецензенту проф. Е.П. Дубинину (МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва) и анонимному рецензенту за полезные комментарии, которые позволили улучшить статью.

Финансирование. Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-15-50139.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анголо-Бразильский и Маскаренско-Австралийский трансокеанские геотраверсы. — Геолого-геофизический атлас. М-6 1 : 20000000. И.Ф. Глумов (ред.). — М.: ЦНИГРИ, 1999.
2. Аглонов С.В., Трунин А.А. Миграция локальной неустойчивости спрединга вдоль оси дивергентной границы: Срединно-Атлантический хребет между трансформными разломами Марафон и Кейн // Физика Земли. 1995. № 9. С. 24–34.
3. Архангельский А.Д., Шатский Н.С. Схема тектоники СССР // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1933. Т. 11. № 4. С. 323–348 + 1 л. карт.
4. Атласов И.П., Вакар В.А., Дибнер В.Д., Егиазаров Б.Х., Зимкин А.В., Романович Б.С. Новая тектоническая карта Арктики // Докл. АН СССР. 1964. Т. 156. № 6. С. 1341–1342.
5. Большая Советская Энциклопедия. — М.: Энциклопедия, 1969. 3-е изд. Т. 1. С. 282–294.
6. Вайн Ф., Мэтьюз Д. Магнитные аномалии под океаническими хребтами. — В кн.: *Новая глобальная тектоника*. — Л.П. Зоненшайн, А.А. Ковалев (ред.). — М.: Мир, 1974. С. 32–37.
7. Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1083–1107.
8. Диц Р. Эволюция континентов и океанических бассейнов как результат спрединга океанического дна. — В кн.: *Новая глобальная тектоника*. — Л.П. Зоненшайн, А.А. Ковалев (ред.). — М.: Мир, 1974. С. 26–32.
9. Егиазаров Б.Х., Атласов И.П., Равич М. Г. Тектоническая карта полярных областей Земли масштаба 1 : 10000000 с объяснительной запиской. — Л.: НИИГА, 1969.
10. Кропоткин П.Н., Шахварстова К.А., Федоров Н.А. Тектоническая карта Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана. — Доклады советских геологов на XXII сессии Международного геологического конгресса “Гималайский и альпийский орогенез” 14–22 декабря 1964 г. Нью-Дели, Индия. — М.: Недра, 1964.
11. Кропоткин П.Н., К.А. Шахварстова. Геологическое строение Тихоокеанского подвижного пояса. — А.В. Пейве (ред.). — М.: Наука, 1965. 368 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 134).
12. Мазарович А.О. Обзор представлений о строении и развитии Атлантического океана // Геотектоника. 1993. № 5. С. 75–89.
13. Мазарович А.О. Геологическое строение Центральной Атлантики: разломы, вулканические сооружения и деформации океанского дна. — Ю.Г. Леонов (ред.). — М.: Научный Мир, 2000. 176 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 530).
14. Мазарович А.О., Соколов С.Ю. Разломные зоны северо-западного простирания Центральной Атлантики // Геотектоника. 2002. № 3. С. 87–94.
15. Международная тектоническая карта Европы. М-6 1 : 2500000. — Н.С. Шатский, Г. Штилле, А.А. Богданов, Ф. Блондел (ред.). — М.: АН СССР, 1962.
16. Морган В. Океанические поднятия, глубоководные желоба, большие разломы и блоки земной коры. — В кн.: *Новая глобальная тектоника*. — Л.П. Зоненшайн, А.А. Ковалев (ред.). — М.: Мир, 1974. С. 68–93.
17. Пуцаровский Ю.М. Некоторые общие проблемы тектоники Арктики // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1960. № 9. С. 15–28.
18. Пуцаровский Ю.М. Введение в тектонику Тихоокеанского сегмента Земли. — А.В. Пейве (ред.). — М.: Наука, 1972, 222 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 234).
19. Разницын Ю. Н. Признаки экзугмации ультрамафитов на хребте Книповича (Северная Атлантика) // Докл. РАН. 2010. Т. 431. № 6. С. 788–791.
20. Сколотнев С.Г., Турко Н.Н., Соколов С.Ю., Пейве А.А., Цуканов Н.В., Колодяжный С.Ю., Чамов Н.П., Барамыков Ю.Е., Пономарев А.С., Ефимов В.Н., Ескин А.Е., Петрова В.В., Головина Л.А., Лаврушин В.Ю., Летягина Е.А., Шевченко Е.П., Кривошея К.В., Зотов Л.В. Новые данные о геологическом строении зоны сочленения Зеленомусского поднятия, котловины Зеленого мыса и подводных гор Батиметристов (Центральная Атлантика) // Докл. РАН. 2007. Т. 416. № 4. С. 525–529.
21. Сколотнев С.Г., Пейве А.А. Состав, строение, происхождение и эволюция внеосевых линейных вулканических структур бразильской котловины (Южная Атлантика) // Геотектоника. 2017. № 1. С. 59–80.
22. Соколов С.Ю. Компонировка обновленной тектонической карты экваториального сегмента Атлантики по данным геофизических полей // Вестн. КРАУНЦ. Сер.: Науки о Земле. 2018а. Т. 38. № 2. С. 59–75.
23. Соколов С.Ю. Тектоника и геодинамика Экваториального сегмента Атлантики. — К.Е. Дегтярев

- (ред.). — М.: Научный мир, 2018б. 269 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 618).
24. Тектоническая карта Европы. Масштаб 1 : 17500000. 1964 г. — А.Л. Яншин (ред.). — М.: Наука, 1964.
 25. Тектоническая карта мира. Масштаб 1 : 45000000. 1982 г. — Ю.Г. Леонов, В.Е. Хаин (ред.). — Л.: МинГео СССР — ВСЕГЕИ, 1984.
 26. Тектоническая карта СССР и сопредельных стран. Масштаб 1 : 5000000. 1956 г. — Н.С. Шатский (ред.). — М.: Госгеолтехиздат, 1956.
 27. Тектоническая карта Тихоокеанского сегмента Земли. Масштаб 1 : 10000000. 1970. — Ю.М. Пушаровский, Г.Б. Удинцев (ред.). — М.: ГИН АН СССР — ИО АН СССР — ГУГК, 1970.
 28. Тектоническая карта Арктики. Масштаб 1 : 10000000. 2018. — О.В. Петров, М. Пубелье (ред.). — СПб.: ВСЕГЕИ — CGMW, 2018.
 29. Удинцев Г.Б. Геоморфология и тектоника дна Тихого океана. — М.: Наука, 1972. 394 с.
 30. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. — М.: КДУ, 2005. 560 с.
 31. Хейзен Б., Тарп М., Юинг М. Дно Атлантического океана. — М.: Иностранная литература, 1962. 148 с.
 32. Хесс Г. Срединно-океанические хребты и тектоника дна океана. В кн.: *Геология и геофизика морского дна*. — В.В. Белоусов, Р. Бредшоу, У. Уайтгард (ред.). — М.: Мир, 1969. С. 246–261.
 33. Яншин А.Л. Тектоника Евразии. Объяснительная записка к тектонической карте Евразии. — М.: Наука, 1966. 487 с.
 34. Bonatti E., Brunelli D., Buck W.R., Cipriani A., Fabretti P., Ferrante V., Gasperini L., Ligi M. Flexural uplift of a lithospheric slab near the Vema transform (Central Atlantic): Timing and mechanisms // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005. Vol. 240. № 3. P. 642–655.
 35. Briggs S.E., Davies R.J., Cartwright J., Morgan R. Thrusting in oceanic crust during continental drift offshore Niger Delta, Equatorial Africa // *Tectonics*. 2009. Vol. 28. TC1004. P. 1–16. <https://doi.org/10.1029/2008TC002266>
 36. Cande S.C., Larson R.L., LaBrecque J.L. Magnetic lineations in the Pacific Jurassic quiet zone // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1978. Vol. 41. P. 434–440.
 37. DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F. Geologically current plate motions // *Geophys. J. Int.* 2010. Vol. 181. P. 1–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>
 38. Dietz R.S. Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor // *Nature*. 1961. Vol. 190. № 4779. P. 854–857. <https://doi.org/10.1038/190854a0>
 39. Digital Tectonic Activity Map Project (DTAM). NASA Goddard Space Flight Center. 2019. <https://visibleearth.nasa.gov/source/1517/dtam> (Accessed August 1, 2019).
 40. GEBCO 30" Bathymetry Grid. Version 20141103. 2014. <http://www.gebco.net> (Accessed October 11, 2016).
 41. GEOROC geochemical database. <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/> (Accessed February 1, 2017).
 42. GPS Time Series Data. Jet Propulsion Laboratory of California Institute of Technology. 2008. <http://side-show.jpl.nasa.gov/mbh/series.html> (Accessed. November 4, 2012).
 43. Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R. Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic // *Science*. 1987. Vol. 235. P. 1156–1167. <https://doi.org/10.1126/science.235.4793.1156>
 44. Heezen B.C., Gerard R.D., Tharp M. The Vema fracture zone in the equatorial Atlantic // *J. Geophys. Res.* 1964. Vol. 69. P. 733–739.
 45. Hess H.H. The AMSOC hole to the Earth's mantle // *AGU Transact.* 1959. Vol. 40. P. 340–345. <https://doi.org/10.1029/tr040i004p00340>
 46. Matthews K.J., Müller R.D., Wessel P., Whittaker J.M. The tectonic fabric of the ocean basins // *J. Geophys. Res. Ser.: Solid Earth*. 2011. Vol. 116. № B12109. <https://doi.org/10.1029/2011JB008413>
 47. Müller R.D., Sdrolias M., Gaina C., Roest W.R. Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2008. Vol. 9. № 4. P. 1–19. <https://doi.org/10.1029/2007GC001743>
 48. Sandwell D.T., Smith W.H.F. Marine Gravity Anomaly from Geosat and ERS-1 Satellite Altimetry // *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 102. № B5. P. 10039–10054.
 49. Smith W.H.F., Sandwell D.T. Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings // *Science*. 1997. Vol. 277. № 5334. P. 1956–1962.
 50. Straume E.O., Gaina C., Medvedev S., Hochmuth K., Gohl K., Whittaker J.M. and et al. GlobSed: Updated total sediment thickness in the world's oceans // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2019. Vol. 20. P. 1756–1772. <https://doi.org/10.1029/2018GC008115>
 51. Tectonic map of the Circum-Pacific Region. Scale 1 : 17000000. — Ed. by. E. Scheibner, (USGS, NY, USA. 2013).
 52. Tectonic map of the World. Scale 1 : 20000000. 1-st edn. (Geologic Data Systems, Denver, USA. 2012), <https://geologicdata.com/gds-world-maps/> (Accessed January 28, 2020).
 53. USGS Earthquake Composite Catalog. 2019. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (Accessed September 11, 2019).
 54. Vine F.J., Matthews D.H. Magnetic Anomalies Over Oceanic Ridges // *Nature*. 1963. Vol. 199. № 4897. P. 947–949. <https://doi.org/10.1038/199947a0>
 55. Weatherall P., Marks K.M., Jakobsson M., Schmitt T., Tani S., Arndt J.E., Rovere M., Chayes D., Ferrini V., Wigley R. A new digital bathymetric model of the world's oceans // *Earth Space Sci.* 2015. Vol. 2. P. 331–345. <https://doi.org/10.1002/2015EA000107>
 56. Wilson J.T. A New Class of Faults and their bearing on Continental Drift // *Nature*. 1965. Vol. 207. № 4995. P. 343–347. <https://doi.org/10.1038/207343a0>
 57. Woodcock N.H., Fisher M. Strike-slip duplexes // *J. Struct. Geol.* 1986. Vol. 8. № 7. P. 725–735.

Methods of Medium-Scale Tectonic Mapping of Deep Ocean Areas

S. Yu. Sokolov^{a, *}, N. N. Turko^a

^a*Geological Institute of Russian Academy of Sciences, bld. 7 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*

^{*}*e-mail: sokolov@yandex.ru*

In our overview we describe evolution of methods and approaches for medium-scale tectonic mapping of the deep ocean areas at scales from 1 : 1000000 to 1 : 15000000 and smaller, which is a synthesis of data on the structure of the bottom and a theoretical geodynamic model that interprets the genesis of the observed structures. Changes in the content of map legends are shown depending on the instrumental level of research and the theory of tectogenesis to the level developed for land tectonics. Until 1970, the development of tectonic ocean mapping followed the way of direct convergence of the map legend composition with its land counterparts, since data were interpreted on the basis of fixism theory. When the ideas of mobilism were formed in the theory, the content of ocean maps acquired tectonic elements that differ from the land, which are peculiar only to the oceans. By 1970, extensive geological and geophysical data and its interpretation based on plate tectonics finally identified a specific tectonic legend of the oceans. Tectonic maps were constructed with a new set of legend elements for all oceans, which were part of general tectonic maps of continents framing. The age gradation of the oceanic basement was formed, based on the indexation of linear magnetic anomalies, and the primary classification of younger intraplate structures, superimposed on the basement. The use of satellite altimetry data, which has dense and uniform coverage at medium scales, gave a new pulse for mapping of the ocean floor and basement structures, even in areas where they are draped with sedimentary cover and are not highlighted in the ocean floor relief. This led to the formation of a new maps generation with no less reliable topographic base than the spatially uneven echo sounder probing. At the end of the 1980s, the fundamentally new stage of accumulation of instrumental measurement data and attempts to rational adaptation of them into a theoretical geodynamic model began. In the structure of the oceanic crust, previously unknown tectonic elements were identified, being not recorded during uneven shipboard surveys. New tectonic elements, established according to modern data, acquire a rational geodynamic interpretation in the framework of the theory of plate tectonics, assuming the block and tectonically stratified structure of moving plates. The saturation of information on the new tectonic maps and reference data is such that it is necessary to move from small scales to 1 : 10000000 to display the details of the topographic bases on which their interpretation was carried out. In our review, we address the unsolved problems that currently arise in the compilation of medium-scale tectonic maps of the deep ocean areas, which are the structural features of intraplate deformation and magmatic structures.

Keywords: tectonic map, ocean floor, topography, geophysical fields, sedimentary cover, basalt basement age, intraplate deformations, tectonic elements