

Геодинамический подход, геодинамический анализ, геодинамические карты

В 50-ые—60-ые годы в результате исследований океанического дна появилось огромное количество принципиально новой информации, которая в совокупности с ранее известными данными о геологии континентов позволяла сформировать новую научную теорию-концепцию тектоники литосферных плит. Одной из главнейших заслуг новой теории явилась увязка в единую внутренне непротиворечивую систему, с одной стороны, всех наиболее важных современных геологических явлений и процессов: сейсмичности, гравитационных и магнитных аномалий осадконакопления, вулканизма рудообразования, формирование складчатых и разрывных дислокаций, главных форм рельефа и др., а с другой, теоретических представлений о спрединге и субдукции океанической коры, наличии конвекционных ячеек в мантии и т. д.

Теория тектоники литосферных плит и разработанные на ее основе модели современных тектонических процессов обострили интерес к разработанному Вольтером методу актуализма, в соответствии с которым „к пониманию прошлого идут от изучения современных процессов, но с сознанием того, что в прошлом и физико-географические обстановки на поверхности (и в глубинах) Земли, и сами процессы протекавшие тогда, заведомо в некоторой степени отличались от современных“.

Естественным следствием появления новой теории оказалось возникновение геодинамики — науки о глубинных процессах развития твердой Земли и их отражении на поверхности в виде разнообразных геологических явлений (Сорохтин, 1979). Соответствующий подход к изучению этих явлений, сбору и обработке фактического материала получил название геодинамического. Геодинамический подход предполагает возможность сочетания в складчатых областях комплексов горных пород, сформировавшихся на значительном удалении друг от друга, и в обстановках, поддающихся непосредственному изучению на современных примерах. Таким образом, переход на новую теоретическую основу предполагает полную перестройку геолого-исторического мышления, которое в свою очередь оказывает непосредственное влияние на характер любых геологических исследований, в том числе стратиграфических, петрологических, структурно-тектонических и металлогенических. В данной статье нами предпринята попытка изложить основные методики геоди-

намического анализа (ГА) — историко-геологического, сравнительно-тектонического и прогнозно-металлогенического исследований, в основе которых лежат теоретические положения тектоники литосферных плит, метод актуализма и актуалистической интерпретации древних вещественно-структурных комплексов.

В зависимости от масштаба исследований можно говорить о глобальном, региональном и локальном ГА. В первом случае объектом изучения является вся литосфера Земли в целом, во втором — отдельный достаточно крупный регион, а в третьем — небольшая территория площадью в несколько тысяч квадратных километров. В последние годы было создано большое количество глобальных реконструкций земной литосферы (Зоненшайн, 1977; Зоненшайн, Савостин, 1979), на которых показаны границы главных литосферных плит, континентов и океанов в различные моменты геологической истории. Методика такого рода работ, включающая использование математического аппарата и расчеты на ЭВМ, неоднократно описана и здесь не рассматривается. Результаты глобального ГА используются и в более детальных работах для выяснения общей картины эволюции региона на фоне взаимных перемещений главных литосферных плит, привязки выделенных структур к палеокоординатной сети и построения палинстатических реконструкций.

Работы в области регионального и локального ГА являют собой весьма пеструю картину, что объясняется, на наш взгляд, разными причинами, в том числе отсутствием единой методики такого рода исследований.

Фактологической базой любого вида ГА служит весь комплекс геологических данных (стратиграфических, литологических, петрологических, структурных, палеонтологических, металлогенических, геоморфологических и др.), имеющихся для рассматриваемой территории. Особое значение могут иметь детальные сведения об осадочных магматических и метаморфических породах, их взаимоотношениях и металлогенических характеристиках, особенностях древних биоценозов, типах структур, позволяющие проводить корректные актуалистические интерпретации.

Конечными целями ГА является, во-первых, тектоническое районирование территории и выяснение ее положения по отношению к древним границам плит, а во-вторых, воссоздание геодинами-

ческой истории региона — истории смены одних геодинамических обстановок другими на фоне глобальных взаимоперемещений главных литосферных плит. На основе полученных результатов возможно проведение металлогенических построений и создание региональных прогнозных схем.

Первая, наиболее сложная и трудоемкая часть ГА — предварительное выделение и нанесение на карту вещественно-структурных комплексов (ВСК). Они представляют естественную ассоциацию осадочных, магматических и метаморфических горных пород, характеризующихся общностью структурного плана и сформировавшихся в определенной геодинамической обстановке. В зависимости от ситуации в ВСК могут объединяться одна или несколько свит, толщ, серий, взятых по латерали и вертикали, один, часть одного или несколько интрузивных комплексов, пояса метаморфических пород, офиолитовый комплекс и т.д. При выделении ВСК необходимо по возможности точно определить их границы как временные (период формирования), так и пространственные (территория первичного распространения). Границы между ВСК — это обычные геологические границы: стратиграфические (согласные и несогласные), фациальные, интрузивные, тектонические, протрузивные и др.

Одновременно с выделением ВСК производится актуалистическая интерпретация геодинамических обстановок, в которых они формировались, и интерпретация границ, фиксирующих смену геодинамических обстановок во времени и пространстве. При этом под современной геодинамической обстановкой мы понимаем принципиально отличную от других реально существующую и подающуюся непосредственному изучению структурную ситуацию, характеризующуюся строго определенным положением по отношению к границам литосферных плит и, как следствие этого, своеобразным глубинным строением, геоморфологическим выражением, характером физических полей и специфическим комплексом формирующихся здесь структур, осадочных, магматических и метаморфических горных пород и полезных ископаемых. Четыре класса современных геодинамических обстановок — внутриплитные, связанные с границами-расхождения, схождения и скольжения — подробно описаны во многих работах (Зоненшайн и др., 1976; Зоненшайн, Савостин, 1979; Сорочтин, 1979) и здесь не рассматриваются. При актуалистической интерпретации обстановок формирования ВСК обычно делается не вполне корректное допущение о том, что геодинамические обстановки в прошедшие геологические эпохи были совершенно аналогичны современным. Однако общая эволюция планеты не может не сказываться на характеристиках разновозрастных геодинамических обстановок и не все геодинамические обстановки прошлых эпох имеют современные аналоги. Указанные обстоятельства заставляют исследователей выделять ископаемые геодинамические обстановки, аналогии которых в настоящее время неизвестны (например, Невадийскую, Зоненшайн и др., 1976), и таким образом отступать от жестких принципов ГА.

Интерпретация ВСК осложняется также и тем, что за много миллионов лет бесследно исчезают

важнейшие индикаторные характеристики геодинамических обстановок, прежде всего геоморфологические и геофизические, заставляя исследователей довольствоваться ассоциациями горных пород и в ряде случаев структурными элементами.

Все эти причины, а также неполнота геологической летописи и, как правило, недостаточная изученность территории определяет неоднозначность геодинамической интерпретации многих ВСК. Особенно сложно бывает отличить принципиально разные, но характеризующиеся похожими ВСК геодинамические обстановки. Например, шельф пассивной окраины континента (Атлантического типа) и шельф окраинного моря (Охотоморского типа), энсиматическую островную дугу, на ранних стадиях развития и срединно-океанический хребет, континентальный рифт и ситуацию, связанную с горячей точкой.

Выделение ВСК и их геодинамическая интерпретация являются двуединой задачей, решаются одновременно и корректируют друг друга. Продемонстрируем это на следующем примере. Верхнемеловые вулканогенноосадочные образования Среднегорской зоны Болгарии интерпретируются либо как островодужный, либо как рифтовой ВСК. В ряде публикаций предпринята попытка разделения их на две неравные части. Вулканыты толейтовой и известково-щелочной серий и сопровождающие их осадочные толщи рассматриваются в качестве островодужных, а щелочные магматыты Бургасского района в качестве рифтовых. Необходимость разделения комплекса на части различной геодинамической природы может появиться после получения дополнительной информации на любом этапе ГА.

Следующей операцией ГА является составление схемы сутурных швов („нарезка блоков“) — разделение складчатого региона на части, долгое время развивавшиеся самостоятельно и окружавшие пространства с корой океанического типа, а затем столкнувшиеся и образовавшие структуру единой складчатой области. В качестве отдельных крупных блоков могут выступать древние континенты (Русская платформа) и микроконтиненты (Мизийская плита). Небольшие чужеродные блоки-террейны („tectonostratigraphic terranes“ Johnson et al., 1983) обычно представляют собой фрагменты различных структур-микроконтинентов, энсиматических и энсиматических островных дуг, вулканических океанических гор, поднятий и др. Иногда террейны хорошо видны на геологических картах, и их выделение не является трудной задачей. Обычно в тех случаях, когда отсутствуют резкие различия в вещественном наполнении террейнов и дискордантность их структур, сделать это значительно сложнее. Тогда на помощь приходят ВСК — показатели конвергентных границ плит, такие как пояса островодужного и окраино-континентального вулканизма, коллизионные гранитоиды, офиолитовые швы. Особо важное значение имеют вулканические пояса, которые несут информацию о направлении и скорости субдукции, ширине исчезнувшего океана, необходимую для палинспастических реконструкций.

Три операции, суть которых мы только что кратко рассмотрели: выделение ВСК, их геодинамическая интерпретация и „нарезка блоков“, в

целом составляют первую стадию ГА. В дальнейшем нам еще не раз придется к ним возвращаться, внося дополнения и изменения в предварительную модель на основе анализа латеральных и вертикальных рядов ВСК.

Латеральный ряд ВСК. Это серия более или менее разновозрастных ВСК, сформировавшихся в смежных геодинамических обстановках. Возможно несколько вариантов латеральных взаимоотношений ВСК. Наиболее простой случай — постепенный переход пород одного комплекса в породы другого. Иногда два смежных разновозрастных ВСК на всем протяжении контактируют по разлому, и требуются специальные исследования, чтобы доказать, что первично они фашиально замещали друг друга. Кроме того, тектонический контакт может разделять и чужеродные комплексы, сформировавшиеся на значительном удалении друг от друга, а впоследствии совмещенные в результате коллизии. Очевидно, что в таком случае ВСК не образуют единого латерального ряда.

При анализе латеральных рядов появляется возможность убедиться в правильности интерпретации ВСК и схемы сутурных швов и в случае необходимости скорректировать принятые ранее решения. Она основывается на закономерностях смены ВСК в латеральных рядах современных геодинамических обстановок. Например, такие латеральные ряды геодинамических обстановок как абиссальная океаническая впадина — подножье шельфа — шельф пассивной окраины континента — внутренняя часть континента или абиссальная океаническая впадина — островная дуга — впадина окраинного моря — шельф окраинного моря — континент, широко распространены на современной Земле и по-видимому были столь же обычны в прошлые геологические эпохи. С другой стороны, латеральный ряд ВСК континент — шельф — континент с точки зрения геодинамики сформироваться принципиально не может. В этом случае необходимо либо перенепретьровать ВСК (островодужные вулканы могут оказаться рифтовыми), либо находить следы коллизионных швов с обеих сторон от островной дуги и соответственно дополнять схему „нарезки блоков“.

Вертикальный ряд ВСК — серия ВСК, сформировавшихся на определенном участке в результате последовательной смены геодинамических обстановок. В ходе ГА необходимо тщательно рассмотреть характер взаимоотношений между ВСК, входящими в вертикальный ряд, поскольку они всегда содержат информацию о перестройках системы взаимодействия плит в регионе.

Разное угловое несогласие, иногда сопровождающееся выведением офиолитовых аллохтонов, образованием олистостром и (или) внедрением палингенных гранитоидов, возникает в результате столкновения двух блоков в непосредственной близости от линии столкновения. При удалении от сутуры угловое несогласие постепенно переходит в стратиграфическое и наконец исчезает вовсе. Ярким примером такого перехода могут служить верхнемеловые толщи Болгарии, которые в пределах Среднегорской зоны залегают с резким угловым несогласием, в Балканском хребте со стратиграфическим несогласием, а на Мизийской плите — согласно перекрывают более древние отложения.

Стратиграфические и нерезкие угловые несогласия могут быть связаны с перестройками системы взаимоотношений литосферных плит без коллизии: заложением зон субдукции, началом рифтогенных процессов на континенте и др. Кроме того, как уже говорилось выше, они могут возникать на некотором удалении от коллизионных швов.

Таким образом, анализ несогласий является важной составной частью ГА. Он позволяет получить данные о времени столкновения друг с другом всех выделенных в районе блоков, уточнить и дополнить предварительную схему сутурных швов.

Заключительный этап ГА является синтез полученных материалов. Он включает составление палеотектонических реконструкций на палинспастической основе и создание схемы тектонического районирования территории.

Палинспастические реконструкции, методика составления которых подробно рассмотрена в работах по глобальному ГА (Зоненшайн, Савостин, 1979; Сорохтин, 1979), составляются на все важнейшие моменты геологической истории региона. На них показывается относительное положение всех выделенных блоков по отношению к наиболее крупному, как правило, континентальному, который условно принимается за неподвижный. Выполнить такие построения на качественном уровне несложно. Для этого достаточно иметь схему сутурных швов и отчетливо представлять себе момент столкновения блоков, полярность и время действия всех ископаемых зон субдукции. Гораздо сложнее проводить палинспастические реконструкции на количественном уровне. Для этого необходимо иметь дополнительные сведения о кинематике (относительной скорости перемещения) блоков и (или) расстоянии между ними в различные моменты геологической истории. Информацию первого ряда можно получить только в океанах, только для главных литосферных плит и только на последние 150 млн. лет. Информацию второго рода дает палеомагнитный анализ. Особенно сложно бывает реконструировать положение мелких блоков, для которых, как правило, нет ни палеомагнитных, ни кинематических данных, ни точных сведений о времени действия зон субдукции. Здесь могут оказаться полезными чисто геологические факты, например, данные о сходстве и различии разновозрастных биоценозов.

Еще одна трудность заключается в привязке уже созданной палинспастической модели к координатной сети. Здесь опять на помощь приходит палеомагнитный анализ, который, достаточно хорошо разработан и оправдал себя в многих районах земного шара. Так что развитие и внедрение в практику этого вида исследований представляются весьма актуальными.

Синтезируя полученный материал в единую увязанную в различных частях модель геодинамической эволюции региона, можно по положению на палинспастических реконструкциях восстановить обстановку формирования тех комплексов, природа которых до этого оставалась неясной.

ГА завершается составлением схемы тектонического районирования территории. Крупные

структурные элементы (складчатые области, системы, зоны) следует выделять только в том случае, если они отличаются друг от друга характером геодинамической эволюции, то есть вертикальными рядами ВСК. Молодые запечатывающие древнюю структуру образования в большинстве случаев следует рассматривать отдельно, как наложенные комплексы. Обязательно надо выделять на схеме мелкие блоки (террейны) которые, несмотря на скромные размеры, придают складчатой области своеобразный структурный рисунок и важны для понимания ее истории.

Закономерности геологического строения и истории развития территории, выявленные в ходе ГА, могут быть использованы и при металлогенических построениях. Эта работа имеет свои трудности и свои способы их преодоления, однако анализ связанных с металлогенией проблем выходит за рамки вопросов, рассматриваемых в данной статье и может явиться предметом отдельной публикации.

Геодинамическая карта позволяет в сжатой картографической форме отразить результаты ГА. Основными объектами, изображающимися на карте, являются ВСК. Наиболее легким для восприятия символом — цветом, показывается геодинамическая обстановка формирования комплекса. На картах, составленных в последние годы в СССР, в том числе на Геодинамической карте СССР М 1:2 500 000, принято обозначать спрединговые хребты и абиссальные океанические равнины фиолетовым цветом, островные дуги и окраинные моря — голубым и синим, активные континентальные окраины — зеленым, коллизионные комплексы — коричневым, континентальные ри-

фты — оранжевым, древние ядра континентов — красным, шельфы — серым, внутриплитные геодинамические обстановки — розовым. Время формирования комплексов показывается на карте возрастным индексом, а литологический состав — крапом. Эта же информация (возраст, состав и геодинамическая обстановка формирования комплексов) проводится и в легенде к карте, при расшифровке каждого кубика. Легенды к геодинамическим картам могут выстраиваться по разным признакам. На наш взгляд, наиболее информативной является легенда, из которой легко вычитываются латеральные и вертикальные ряды ВСК, причем последние желательно изображать в реальном масштабе времени. Если район имеет аккреционное строение и состоит из небольших террейнов, условные обозначения к каждому из них следует давать изолированно от других. Кроме того, необходимо предусмотреть изобразительные средства для показа времени и последовательности столкновения террейнов.

Обязательными дополнениями к геодинамической карте являются схема тектонического районирования и комплект палинспастических реконструкций. Кроме того, на отдельных врезках можно поместить различные структурные схемы, схему металлогенического районирования и т.д. Совершенно специфическими элементами нагрузки геодинамических карт являются швы столкновения блоков (сутуры), линии выхода на поверхность древних сейсмофокальных зон (вычисленные по геохимическим данным или показанные условно), полученные в результате проведения палеомагнитных исследований палеошироты направления на древний полюс.

Литература

- Зоненшайн, Л. П., И. Кузмин, В. М. Моралев. 1976. *Глобальная тектоника — магматизм и металлогения*. М., Недра. 231 с.
- Зоненшайн, Л. П., А. М. Городничий. 1977. Палеозойские и мезозойские реконструкции континентов и океанов. — *Геотектоника*, 2, 3—23.
- Зоненшайн, Л. П., Л. А. Савостин. 1979. *Введение в геодинамику*. М., Недра. 311 с.
- Сорохтин, О. Г. (ред.). 1979. *Океанология. Геофизика океана 2. Геодинамика*. М., Наука. 416 с.
- Johnes, D. L., D. G. Howell, P. J. Coney,

J. M. H. Monger. 1983. Recognition, character and analysis of tectonostratigraphic terranes in Western North America. — In: *Accretion tectonics in the Circum-Pacific region*. Tokyo, Terra Sci. Publ. Company, 21-35.

А. П. Ставский¹, Л. М. Натанов¹,
Н. К. Кацков²

¹Производственное геологическое объединение „Аэрология“, 117071 Москва

²Научно-исследовательский институт полезных ископаемых, 1505 Софийа