

ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОБЛАСТНОЕ ПРАВЛЕНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ГОРНОГО ОБЩЕСТВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ (ВСЕГЕИ)

ВНУТРЕННЯЯ ГЕОДИНАМИКА

(КРАТКИЕ ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ К ВСЕСОЮЗНОМУ
СОВЕЩАНИЮ ПО ВНУТРЕННЕЙ ГЕОДИНАМИКЕ
27—30 НОЯБРЯ 1972 г.)

Вып. 1. Общие вопросы внутренней геодинамики

Ленинград

1972

ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОБЛАСТНОЕ ПРАВЛЕНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ГОРНОГО ОБЩЕСТВА
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ВСЕГЕИ)

ВНУТРЕННЯЯ ГЕОДИНАМИКА

(краткие тезисы докладов к всесоюзному
совещанию по внутренней геодинамике
27-30 ноября 1972 г.)

Вып. I. Общие вопросы внутренней
геодинамики

Ленинград
1972



Редакционная коллегия

Е.А.Басков, Г.М.Беляев (зам.отв.ред.), Н.К.Булин,
В.И.Васильев, Г.М.Дитмар (зам.отв.ред.), В.И.Драгунов,
Н.Э.Евзинова, А.Л.Егорьева, Б.А.Ермолаев, Г.В.Ицкисон,
И.Г.Клушин, В.Е.Кудрявцев, А.И.Петров, Л.М.Плотников
(отв.ред.), В.М.Терентьев, И.А.Хайретдинов, Г.Г.Юрвич.

"Эмпирическое естествознание накопило такую необъятную массу положительного материала, что в каждой отдельной области исследования стала прямо-таки неустранимой необходимостью упорядочить этот материал систематически и сообразно его внутренней связи. Точно так же становится неустранимой задача приведения в правильную связь между собой отдельных областей знания. Но, занявшись этим, естествознание вступает в теоретическую область, а здесь эмпирические методы оказываются бессильными, здесь может оказать помощь только теоретическое мышление".

(К. Маркс, Ф. Энгельс, соч., т. 20, стр. 366)

Развитие геологии на протяжении текущего столетия характеризуется прогрессивным нарастанием объема фактического материала и соответственно прогрессирующими дифференциацией науки и специализацией исследователей.

Наряду с положительными последствиями, выразившимися в интенсивном развитии многочисленных специализированных направлений геологической науки, специализация обусловила отставание в развитии общей и, прежде всего, динамической геологии, призванных обобщать материалы специализированных направлений. Это обстоятельство наглядно отражено в неудовлетворительном состоянии современного понятийного аппарата геологической науки, обремененного многочисленными недостатками, характерными для интуитивного понимания научных знаний, не подвергнутого целенаправленной логической переработке: фрагментарностью, неоднородностью и др. Показательным примером таких недостатков является тот факт, что разделяя геологические процессы на две основные группы (эндогенные и экзогенные процессы) авторы учебников, словарей, монографий и других научных трудов обычно не относят ни к одной из этих групп процессы образования, миграции и концентрации ископаемых углеводородов. Для процессов, изучением которых занята добрая половина геологов, в сложившейся классификации геологических процессов не находится места. В этой же классификации логически неправомерно выделяются в одинаковом ранге в качестве основных подразделений эндогенных процессов тектогенез, метаморфизм, магматизм и гидротермальная деятельность. Тектогенез и мета-

морфизм представляя собой весьма общие процессы структурно-вещественного преобразования геологических тел всевозможных масштабов, включают в себя, в частности, и преобразования, связанные с магматизмом и гидротермальной деятельностью. Последние же два понятия отражают существование отдельных разновидностей подвижных фаз земной коры, то есть выделяются по совершенно другому принципу, причем и этот принцип оказывается не выдержанным, поскольку отсутствуют аналогичные понятия, отражающие существование других разновидностей подвижных фаз, в частности - жидких и газообразных битумов.

Отставание развития общей геологии и недостатки ее понятийного аппарата, будучи обусловлены недостаточной увязкой материалов специализированных направлений геологии, в свою очередь не могут не отражаться на состоянии самих этих направлений. В этом отношении весьма показательны современные состояние нефтяной геологии, в которой в последние десятилетия широко распространились неверные представления о невозможности образования промышленных скоплений нефти и газа за счет биогенного вещества осадочных горных пород и значительной группой исследователей усиленно доказывается взвильное происхождение ископаемых углеводородов. Характерно, что такая тенденция возникла в нефтяной геологии именно тогда, когда в петрологии и в учении о рудных месторождениях отказались от существовавших ранее представлений о взвильном происхождении гранитов и исключительно магматогежном происхождении гидротермальных растворов и рудного вещества, когда появились многочисленные свидетельства возникновения горных пород рудных месторождений за счет концентрации рудного вещества. Противоположная по отношению к другим отраслям геологии направленность развития нефтяной геологии является прямым следствием рассмотрения ее материалов в отрыве от других направлений геологической науки. В противоположность этому показательны успешное развитие созданной Ю.А.Билибиним металлогенической школы ВСЕГЕИ, в основе работ которой лежит учет взаимосвязей процессов рудообразования с другими геологическими процессами. Разумеется, и развитие этой школы существенно тормозится отставанием общей геологии, однако учет взаимосвязей процессов,

изучаемых различными геологическими науками, обеспечивает ей правильное направление развития.

При недооценке значения общей геологии понимание необходимости исследовать геологические объекты в их взаимосвязи иногда приводит специалистов к переоценке значения и объема направлений, в которых они работают, к тенденции расширения этих направлений до объема общей геологии. Эта тенденция уже давно проявляется в геотектонике. В последнее время она проявляется также в металлогении.

В то же время, профессиональная ограниченность специалистов, даже весьма широких, позволяет им вводить понятия и использовать термины без учета состояния и потребностей развития понятийного аппарата геологии в целом. Наглядный пример этого являет использование исследователями термина "геодинамика" для обозначения раздела геотектоники, исследующего физические условия тектонических движений и деформаций, хотя этот термин с давних пор и в полном соответствии с его семантическим содержанием используется в гораздо более широком значении.

Той же профессиональной ограниченностью специалистов обусловлено широкое распространение представления о том, что геолог обязательно должен специализироваться в какой-либо узкой области геологической науки. В соответствии с этим представлением даже профессора, читающие курсы и составляющие учебники общей и динамической геологии, могут быть специалистами в области геотектоники, вулканологии, металлогении и т.п., но только не в области общей геологии. Являясь одним из частных проявлений негативных последствий специализации, это представление, в свою очередь существенно тормозит их преодоление.

Необходимость преодоления этих последствий отмечена А.В.Сидоренко (1969), полагающим, что "Хотя, конечно, узкая специализация нужна — это неизбежное следствие развития наук, но главная задача нашей науки — это синтез геологических данных, получаемых дифференцированными геологическими науками. Только на базе этого мы можем сейчас развивать геологию".

Очевидно, что для выполнения такого синтеза необходима специализация определенной части научных работников в области общей и, прежде всего, динамической геологии, в области теоретической разработки их основных вопросов.

Интенсивное развитие специализированных направлений геологической науки и огромный объем накопленного и требующего теоретического осмысления материала открывают перед такой разработкой широкие перспективы, обеспечивая возможность перехода общей и динамической геологии на новый качественный уровень.

Помимо самой этой объективной возможности, в геологической науке, особенно в советской, в последнее время отчетливо проявляются тенденции к ее реализации. Эти тенденции усматриваются в широком интересе исследователей к общенаучным концепциям, применимым к любым природным объектам и позволяющим систематизировать все геологические объекты и явления по единому принципу.

Весьма перспективными в этом отношении представляются работы, в которых к разнообразному геологическому материалу применяются принципы симметрии, представления о волновых свойствах материи, представления о иерархии уровней организации вещества и др.

Большое значение имеют работы по формализации геологических понятий, непосредственно направленные на реализацию упомянутой выше возможности. Важные предпосылки для ее реализации созданы ассимиляцией различными специализированными направлениями геологии современных материалов и методов других наук, а также широким проникновением в геологию математических методов исследований.

Таким образом, переход общей и динамической геологии на новый уровень, качественно отличный от того, на котором закладывались их основы на рубеже XIX и XX-го столетий (Д. Дзена, И. В. Мушкетов и др.) уже назрел.

В связи с отмеченными выше особенностями состояния геологической науки, теоретическая разработка динамической

геологии, систематизация ее материала и упорядочение понятийного аппарата приобрела в настоящее время кардинальное значение. Достаточно четкие и соответствующие современному уровню естественно-научных знаний представления о закономерностях протекания геологических процессов и о взаимосвязях этих процессов необходимы и для развития специализированных направлений геологической науки и для решения ее основных задач, сводящихся к разработке на уровне современного естествознания и по единому историко-геологическому принципу истории развития Земли и земной коры и к выявлению закономерностей формирования и размещения полезных ископаемых. Соответственно, динамическая геология предстает в качестве одного из перспективных направлений геологической науки, а ее разработка — в качестве деятельности по реализации соответствующей директивы XXIV-го съезда КПСС.

Внутри динамической геологии, в свою очередь, в качестве наиболее перспективного направления должна быть выделена внутренняя геодинамика, исследующая эндогенные геологические процессы, поскольку именно в этой области накоплен и продолжает накапливаться особенно обширный фактический материал, упорядочение которого может и должно дать максимальный теоретический и практический эффект.

В силу тех же, отмеченных ранее особенностей состояния геологической науки, для разработки на современном уровне теоретических основ внутренней геодинамики необходимо объединение усилий специалистов различных профилей, преодоление рамок сложившейся специализации и ее негативных последствий.

В 1969 г. Ленинградское научно-техническое горное общество, Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ) и Географическое общество СССР провели совещание по проблеме "Давления и механические напряжения в развитии состава, структуры и рельефа литосферы", вынудившее и объединившее широкий круг исследователей различных специальностей, заинтересованных в разработке проблемы, составляющей одно из основных звеньев общей проблемы внутренней геодинамики.

ки. Результаты этого совещания и организационная работа, проведенная созданным по его решению советом по геодинамике при геологической секции Центрального правления НТГО, создали предпосылки для проведения Всесоюзного совещания по внутренней геодинамике, конечной целью которого является содействие разработке общей теории внутренней геодинамики.

Непосредственными задачами совещания являются:

1. Координация усилий исследователей, заинтересованных в разработке проблемы внутренней геодинамики в целом и отдельных ее аспектов.

2. Обсуждение представленных материалов и общего состояния проблемы, определение рациональных путей и методов ее решения и разработка соответствующих рекомендаций.

3. Привлечение к проблеме внутренней геодинамики внимания возможно более широкого круга исследователей.

Материалы для обсуждения представили более 130 исследователей из 52 научных и производственных организаций Советского Союза и один геолог из Чехословакии.

Публикуемые к совещанию краткие тезисы представленных докладов сгруппированы в 3 выпуска:

вып.1 - Общие вопросы внутренней геодинамики;

вып.2 - Вопросы динамики эндогенных процессов;

вып.3 - Вопросы динамики подвижных фаз, методика, экспериментальные и математические исследования.

Оргкомитет рассчитывает, что публикация этих тезисов будет способствовать успешному решению задач совещания,

Л.М.Плотников, Г.М.Беляев, Г.В.Дитмар,
В.Т.Свириденко (ВСЕГЕИ, Ленинград)

СОДЕРЖАНИЕ И ЗАДАЧИ ГЕОДИНАМИКИ И ВНУТРЕННЕЙ ГЕОДИНАМИКИ

Геодинамикой, в соответствии с семантическим значением и традиционным употреблением (Э.Ог, и др.) этого термина, мы называем науку о силовых (энергетических) полях, действующих в системе "Земля" и, соответственно, о процессах, протекающих в этих полях.

В соответствии с естественным структурным разделением системы "Земля" на геосферы в составе геодинамики выделяются динамика ядра, динамика мантии, динамика литосферы, динамика гидросферы, динамика атмосферы и динамика околоземного космического пространства.

Как геодинамика в целом, так и динамика отдельных геосфер, могут быть достаточно полно исследованы только при учете взаимодействия их объектов с окружающей средой (с Космосом — для системы "Земля", с Космосом и другими геосферами — для отдельных геосфер). Динамика трех внутренних геосфер, образующих твердое ядро Земли, объединяются во внутреннюю геодинамику (эндогеодинамику), трех внешних — во внешнюю геодинамику (эксгеодинамику).

Внутренняя геодинамика полностью относится к области интересов геологических наук — и динамической геологии. Внешняя геодинамика, кроме объектов, традиционно исследуемых динамической геологией (процессов денудации — аккумуляции), охватывает также области интересов океанологии, метеорологии и некоторых других наук.

Помимо указанного выше структурного разделения геодинамики, в ней могут быть выделены направления, исследующие силовые поля и процессы на различных уровнях организации вещества: в минералах, горных породах и т.д. Вообще могут быть выделены разделы геодинамики по любому существенному признаку.

Наложение предметных, пространственных и временных ограничений позволяет разнообразно локализовать частные объекты

геодинамики. Например, динамику биосферы, динамику рифтовых зон, динамику муссонов Ито-Восточной Азии, динамику мезозойского гидротермального рудообразования в Восточном Забайкалье и т.п.

Основными задачами геодинамики в целом и любого выделенного ее направления являются: исследование силовых полей, действующих или действовавших (в случае ретроспективного исследования) в рассматриваемых объектах, анализ распределения их потенциалов и градиентов, механизмов взаимодействий полей различных типов (гравитационных — механических, механических-электромагнитных и т.д.), исследование процессов, протекающих в этих полях, и взаимосвязей процессов с полями и друг с другом.

Для успешного решения этих задач геодинамика должна ассимилировать достижения других отраслей современного естествознания, использовать их материалы и методы.

Для внутренней геодинамики в этом отношении важны механика (классическая и квантовая), акустика, физика твердого тела, физика сплошных и слоистых сред, физическая химия, кристаллохимия, электрохимия, термодинамика, реология и др.

Соответственно геодинамика является характерной отраслью знаний, развивающейся на стыке многих наук. В результате, широкий диапазон методов исследования в их совокупности открывает перед геодинамикой широкие перспективы и обеспечивает ей возможности интенсивного развития.

Во многих случаях развитие геодинамики поставит перед другими отраслями естествознания задачу разработки некоторых вопросов, пока ими еще не решенных. В частности, перед механикой она уже сейчас ставит вопрос о причинах и механизме закономерного (симметрично) неравномерного распределения механических напряжений в ограниченных однородных телах, а перед физикой в целом — о причинах и механизме закономерной организации вещества Земли, проявляющейся на самых различных уровнях.

Из собственно геологических наук внутренняя геодинамика

включает в себя динамические аспекты геотектоники, учения о метаморфизме, петрологии, эндогенной минералогии, учения об эндогенном рудообразовании, учения об образовании, миграции и концентрации ископаемых углеводородов. Соответственно этому она выступает в качестве обобщающей науки о закономерности развития вещества внутренних геосфер.

Геодинамика в целом выступает в качестве обобщающей науки о закономерностях развития Земли, которая, в отличие от геонии, предлагаемой В.В.Белюсовым в качестве обобщающей науки о Земле, строится не как конгломерат стихийно сложившихся разнородных наук о Земле, а как результат целеустремленной переработки по единому принципу материалов этих наук.

А.А.Хлобутов (ВПС, Ташкент)

СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ "ЗЕМЛЯ"

Важнейшими составными элементами природных взаимодействий являются непрерывное поступление энергии, ее накопление, неоднородность среды, возможность высвобождения из-под нагрузки, концентрация и превращение энергии и изменение вещества с возникновением новообразований.

В земную кору непрерывно поступает энергия приливного возмущения Луны и Солнца, периодического изменения скорости вращения Земли, излучения и корпускулярного потока Солнца, космических лучей, теплового, нейтронного и радиоактивных потоков земной коры, землетрясений, вулканических извержений и химических преобразований. Количество энергии внешних источников на 3 порядка больше, чем внутренних. Энергия земного вещества высвобождается главным образом в тех случаях, когда под влиянием внешних воздействий природные ансамбли (пород, минералов, атомов) распадается на составные части и энергия связи этих частей друг с другом переходит в свободное состояние. Из 15 видов энергии (Г.Н.Алексеев, 1966) в геологических процессах участвуют преимущественно гравитатическая, механическая, тепловая, химическая, ядерная, упругая и

электродинамическая.

Перенос энергии (главным образом гравитационным и электромагнитным полями) происходит с ограниченной скоростью, определяемой плотностью среды. При переходе из одной среды в другую скорость потока энергии изменяется и у границы сред возможно накопление или уменьшение энергии.

Часть поступающей на Землю энергии накапливается ее веществом: живыми организмами, глинистыми минералами, осадочными горными породами и т.д.

Возможность высвобождения горных пород из-под нагрузки (в.в.) в общем случае определяется глубиной их залегания (А.А.Хлобустов, 1958). Вблизи дневной поверхности эта в.в. велика (плотность воздуха в 2000 раз меньше, чем пород), на большой глубине — стремится к нулю. В условиях всестороннего сжатия и при непрекращающемся поступлении извне энергии у земного вещества имеется только одна возможность освободиться от нагрузки — медленно распределять ее на возможно больший объем и уплотняться, сперва за счет межзерновых, а потом и мекатомных промежутков (мигматиты, гнейсы и т.п.) При появлении хотя бы незначительной в.в. в какую-либо сторону (за счет неоднородности, обычно по направлению к дневной поверхности), всестороннее сжатие порождает поток энергии, устремленный в образовавшуюся "отдушину". Таким образом, в.в. определяет режим усвоения веществом энергии — либо внутрь (при всестороннем сжатии), либо во вне, наружу (при наличии в.в.). Если размер "отдушины" по сравнению с потоком энергии невелик, то около "отдушины" энергия начнет накапливаться и концентрироваться. В этом случае в.в. определяет и другую особенность взаимодействия энергии с веществом — оно может сопровождаться либо концентрацией энергии в ограниченном объеме, либо равномерным ее распределением в большом пространстве.

Концентрация энергии (к.э.) за счет увеличения скорости или уменьшения площади ее потока является необходимой предпосылкой для последующих ее превращений.

В земной коре происходит нарастающее увеличение к.э. в направлении от крупных блоков коры к отдельным минералам и атомам в наиболее неоднородных участках каждого уровня. Эта

эскалация к.э. может остановиться на любом из этапов, если неоднородность на последующей стадии накопления энергии окажется меньше. Так, если на уровне горных пород в месте концентрации энергии неоднородность больше, чем на уровне минералов, то поток энергии будет перераспределяться по породам до тех пор, пока не сделает их однородными, после чего, не углубляясь в минералы (если здесь нет неоднородности), "вернется вверх" и локализуется в каком-либо другом районе, наиболее неоднородном в данное время. Превышая пределы прочности пород, накапливаемая в них энергия изменяет их состав.

Энергия гравитации превращается в энергию механическую (почти все перемещения на Земле обусловлены ею); сжимая породы, порождает в них тепло; нагревая и уплотняя породы, способствует проявлению химических, а затем и ядерных превращений (на звездах — на всю их массу, на Земле — только в отдельных участках или точках).

Новообразования — все новое, что возникает в системе в процессе превращения энергии — являются конечной стадией взаимодействий, после которой неоднородность в данном участке ликвидируется или уменьшается настолько, что накопление, концентрация и превращения энергии перемещаются в другие места планеты. Характер и размер новообразований определяется в первую очередь степенью неоднородности, обуславливающей приток энергии в данное место и предопределяющей дальнейшие стадии ее накопления, концентрации и превращения.

Самое главное в природных взаимодействиях — нарастание к.э., возникающее вследствие последовательного уменьшения площади приложения и такого изменения видов энергии, при котором удельная (на единицу массы) энергия связи при переходе от макро- к микромиру возрастает (на величину до 15 порядков).

Л.М.Плотников, Н.Н.Тазихин
(ВСЕГЕИ, Ленинград)

О ГЕОСТАТИЧЕСКОМ РАВНОВЕСИИ И ОСНОВНОМ ЗАКОНЕ ГЕОДИНАМИКИ

В современной геологической литературе широко распространено представление о том, что давление в глубинных зонах

земной коры и в более глубоких сферах Земли определяется весом вышележащего столба горных пород (минеральных масс). В соответствии с этим, по аналогии с гидростатическим давлением в жидкостях, говорят о геостатическом (литостатическом, петростатическом) давлении в твердом теле Земли. На основе этого представления рассчитываются давления в геологических объектах на заданных глубинах и определяются величины давлений, при которых протекали те или иные геологические процессы (если могут быть определены мощность и плотность толщ, перекрывавших место реализации процесса). Обычно не учитывается, что такое представление справедливо только для статического состояния Земли в целом или любой рассматриваемой ее части, что в геодинамических условиях, так же как и в гидродинамических, давление не определяется весом вышеразположенных масс.

Также как в гидромеханике, в геомеханике статическое состояние системы означает, что любой силе, действующей на любую точку системы, соответствует действующая на эту же точку сила, равная первой по величине и противоположная по направлению. В геостатическом состоянии (в условиях геостатического равновесия) миграционные напряжения между любыми двумя точками системы, определяемые как разность давлений в этих точках, уравниваются гравитационными напряжениями, определяемыми как разность весов вышележащих столбов горных пород в этих же точках (Плотников, 1960; Плотников, Петров, Древич, 1969).

В применении к астрономическим телам с массой меньшей определенной критической величины (к которым относится и Земля) такое состояние было рассмотрено в 1939 г. Р.Оппенгеймером (Бергман, 1969), заключившим, что в ходе развития этих тел "...достигается равновесие, при котором на любом удалении от центра давления как раз хватает на то, чтобы сдерживать гравитационное притяжение, включающее в себя тяжесть всех внешних по отношению к сфере этого радиуса слоев. Как только такое равновесие установилось, никаких изменений давления или плотности уже не происходит; давление и плотность возрастают от нуля на поверхности звезды до некоторого максимального

значения в ее центре".

Необходимым условием длительного сохранения состояния равновесия, при котором "никаких изменений давления или плотности уже не происходит", является полная изоляция системы от внешних воздействий или их изменений, то есть абсолютная закрытость системы. Поскольку абсолютно закрытых систем в природе не существует, невозможно и сколько-нибудь длительное сохранение состояния равновесия. Можно, а иногда и необходимо, с определенной для каждого конкретного случая степенью приближения рассматривать состояния природных систем как статические, пренебрегая некоторыми, несущественными в данных случаях отклонениями от равновесия (проявлениями динамичности). Однако, в каждом случае, в меру значимости проявлений динамичности, которыми мы пренебрегли, ограничивается область применимости такого рассмотрения. В частности, приведенное утверждение Р.Оппенгеймера правомерно лишь при рассмотрении вопроса об устойчивости планет и звезд в целом. Флуктуации в распределении давлений и плотностей внутри этих тел, не нарушающие устойчивости системы в целом (не ведущие к взрыву или гравитационному коллапсу) в данном рассмотрении не имеют значения. При более детальном рассмотрении системы, которое имеет место в геологии при исследовании эндогенных процессов, эти флуктуации приобретают кардинальное значение и пренебрежение ими в этом случае равносильно пренебрежению предметом исследований.

Необходимым условием осуществления любого эндогенного процесса является отклонение системы, в которой он протекает, от статического состояния. Поэтому нельзя, в частности, определять давление, при котором он протекает, исходя из представления о геостатическом давлении.

В то же время, представление о геостатическом равновесии (а не о геостатическом давлении) имеет для исследования любых эндогенных процессов и геодинамики в целом фундаментальное значение.

Геостатическое равновесие выступает в качестве предельного состояния, к которому постоянно стремится система "Земля"

в целом и любая ее часть, практически никогда (строго говоря) его не достигая, в силу постоянного изменения внешних по отношению к рассматриваемым системам факторов и соответственно изменения условий внутреннего равновесия этих систем.

Распространение представления о геостатическом равновесии помимо твердого тела Земли на внешние геосферы не встречает препятствий, поскольку стремление к равновесию между тяготением и давлением обязательно для всех геосфер и всех сред. Этим стремлением непосредственно или опосредованно определяется, в конечном счете, направленность всех геодинамических процессов.

В соответствии с изложенным выше может быть сформулирован основной закон геодинамики: Все процессы, протекающие в системе "Земля", направлены на достижение геостатического равновесия, условия которого постоянно изменяются в силу постоянного изменения воздействия на систему внешних факторов.

В качестве следствия этого закона может быть сформулировано положение о том, что проявления периодичности в изменениях воздействий внешних (космических) факторов на систему "Земля" соответствующим образом отражаются в протекании геодинамических процессов.

Л.М.Плотников, Г.М.Беляев, Г.В.Дитмар,
В.Т.Свириденко (ВСЕГЕИ, Ленинград)

О КЛАССИФИКАЦИИ И ВЗАИМОСВЯЗЯХ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Эндогенными геологическими процессами принято называть процессы, вызываемые силами, действующими внутри Земли, причем имеется в виду твердое тело Земли.

Поскольку силы (фундаментальные физические взаимодействия), обуславливающие протекание тех или иных процессов, в этих же процессах и проявляются, такое определение, по существу, равнозначно отнесению к эндогенным процессам, осуществляющимся внутри твердого тела Земли, то есть ниже верхней поверхности литосферы.

454

Сущность всех эндогенных процессов так же, как и геологических процессов вообще, состоит в преобразовании и перераспределении вещества твердого тела Земли под влиянием силовых (энергетических) полей. При этом перераспределение вещества, включая обмен веществом с окружающей средой, является более общим понятием, чем преобразование. Последнее всегда может быть сведено к первому, если рассмотреть соответствующий процесс на более низком уровне организации вещества, то есть в более крупном пространственном масштабе. В частности, физико-химическое преобразование закрытой системы при изохимическом метаморфизме горных пород может быть сведено к перераспределению атомов или ионов, обусловливающему возникновение новых минеральных ассоциаций.

Преобразования вещества могут быть разделены на механические, физические и физико-химические. К механическим преобразованиям относятся деформации и нарушения сплошности геологических тел: складкообразование, будинаж, трещинообразование, брекчирование, рассланцевание и др. К физическим: расплавление - затвердование, растворение - осаждение, испарение - конденсация, сублимация, раскристаллизация, перекристаллизация (без изменения минерального состава) и др. К физико-химическим: перекристаллизация закрытых систем с изменением минерального состава и разнообразные реакции в открытых системах.

Перераспределение вещества осуществляется посредством миграции подвижных фаз и его проявления могут быть систематизированы в соответствии с физической природой этих фаз. Последние могут быть разделены на твердые (горные породы и минералы в пластическом состоянии), жидкие (магматические расплавы, водные растворы, жидкие битумы), газовые. Наряду с миграцией отдельных подвижных фаз в эндогенных процессах осуществляется миграция многофазных подвижных систем (водонасыщенных пород, суспензий, эмульсий и др.)

Взаимосвязи эндогенных процессов носят сложный причинно-следственный характер. Они могут быть проанализированы на основе учета зависимости всех без исключения эндогенных процессов от пространственно-временного распределения механических



напряжений в твердом теле Земли. Изменения этого распределения во времени вызывают преобразования вещества. Неравномерность пространственного распределения механических напряжений, нарушающая геостатическое равновесие, обуславливает перераспределение вещества.

Все названные выше разновидности эндогенных процессов контролируются энергетическими условиями и для каждого конкретного вещественного объекта характеризуются определенными полями давлений (точнее – механических напряжений) и температур. Не представляют исключения в этом отношении и фетишизируемые некоторыми исследователями процессы радиоактивного распада. Диапазон энергетических условий, в которых радиоактивные атомы неустойчивы, весьма широк, но не бесконечен. В природе не могут не существовать энергетические условия, в которых эти атомы устойчивы, и условия, в которых осуществляется синтез атомов. Возможно, что такие условия существуют во внутренних геосферах. В любом случае радиоактивный распад выступает в качестве следствия нахождения распадающихся атомов в определенных энергетических условиях и, в конечном счете, контролируется распределением механических напряжений.

Все выделенные разновидности эндогенных процессов могут протекать параллельно, разнообразно комбинируясь друг с другом, совпадая либо в пространстве, либо во времени, либо и в том и в другом. С этим связано чрезвычайное разнообразие вариаций протекания реальных эндогенных процессов.

Представляя собой (в данном рассмотрении) следствия изменений распределения механических напряжений, все они могут также явиться причиной изменения напряженных состояний геологических тел. В частности, перемещение разогретых магматических масс из нижних слоев литосферы в верхние повсеместно сопровождается теплообменом с окружающими породами и возникновением термоупругих напряжений.

В целом взаимосвязи эндогенных процессов отражают взаимосвязи различных форм силовых (энергетических) полей, и задача познания физической сущности взаимосвязей эндогенных процессов будет неразрывно связана с задачей разработки общей

В. А. Пирогов (Заб. фил. ГО СССР, Чита)

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ВОЛНОВОЙ ГЕОДИНАМИКИ

Геология настойчиво стремится проникнуть в общие законы и причины земных процессов. Однако, несмотря на всесторонние поиски, решающие результаты пока не получены. Думается, что это связано, прежде всего, с ограничениями, накладываемыми методологией классической физики. Ограниченность ее состоит в том, что механика точки исходит из постулата однородного и изотропного пространства. В частности, относительное положение слагающих частиц покоящихся и движущихся тел она принимает неизменным, симметричным и независимым от изменения количества движения тел. Мера и причина движения такого тела лежит не в нем самом, а вне его. Это требует и от геологов для объяснения деформации симметричного геологического пространства и текущих изменений в нем искать внешние причины. Такой метод всегда приводил и неизбежно будет приводить к отрицательным результатам.

Волновая механика, в отличие от классической, относительное положение слагающих частиц ставит в зависимость от изменения количества движения макротел. Движение рассматривается как переход волнового импульса от одного тела к другому на уровне вакуума. При этом переход волнового импульса от одного тела к другому происходит при образовании ими непрерывной среды. Тем самым движение становится внутренним свойством поля вещества и вакуума, а неоднородность и анизотропность поля возводится в ранг причины и меры количества движения.

В основу волновой механики положена конечность скорости звука (C_3) в веществе ($C_3 < C_c$). Постоянство скорости звука, в свою очередь, позволяет определить энергию макротела через переменную величину фонона - его частоту (ν). Из этого следует зависимость энергии макротела (E_T) только от частоты фонона: $E_T = h\nu$, где h - постоянная для фонона,

аналогичная h — постоянной для фотона ($\epsilon = h\nu$). Основной закон движения в этом случае имеет форму неравенства $\nu_1 > \nu_2$.

Указанное неравенство утверждает, что действие (—) имеет однонаправленный в пространстве — времени характер и проявляется в действии большей частоты (ν_1) на меньшую частоту (ν_2). Обратное действие, т.е. действие меньшей частоты в отношении большей частоты никогда не имеет и не может иметь места.

Неравенство $\nu_1 > \nu_2$ отвечает условию асимметрии (неравновесности состояния), т.е. является условием возникновения и самого движения, его причиной и мерой, выраженной в волновой форме. Применительно к геологии указанное неравенство является основным законом волновой геодинамики, достаточно широким, чтобы охватить все ее явления. Величины частот ν_1 и ν_2 могут принимать различные, но ограниченные значения. В частном случае эти частоты могут быть численно равны ($\nu_1 = \nu_2$) и тогда можно говорить о волновой геостатике. Волновая геодинамика и геостатика образуют волновую геомеханику.

Волновая геодинамика есть приложение волновой геомеханики к движениям Земли. Иначе говоря, волновая геодинамика есть наука о движениях планеты — поступательном и вращательном движении Земли как целого, а также о движениях ядра, мантии, литосферы, водной и газовой оболочки планеты (главным образом). Основной целью геодинамики является нахождение полей геодинамических напряжений, установление волновых параметров этих полей, а также характера и меры влияния на структурный план вещественного состава планеты и связи с динамикой химических, термальных, магнитных, электрических и других геологических процессов (в определенном отношении и деятельность людей является геодинамическим фактором).

Линейное и вращательное движение Земли в настоящее время не представляют прямого интереса для геодинамики, так как классическая методология в принципе не позволяет вывести из них движения мантии и литосферы. Вращение и тектоника здесь не могут быть связаны. Совершенно иное положение в случае приложения принципов волновой геодинамики: вращающаяся сфера

не может сохранить исходной симметрии, свойственной состоянию покоя. Само вращение делает сферу многоосно асимметричной фигурой. Мера вращения оказывается и мерой асимметрии: чем больше момент количества движения, тем больше и асимметрия (различие) частот в неравенстве действия. Для рассматриваемого случая вращательного движения Земли это, в частности, означает, что антиподальная асимметрия массы (Δm) литосферы в области Евразии (Δm) и Тихого океана (Δm) относительно геоида является следствием осевого вращения планеты. Количественно амплитуда асимметрии масс литосферы (Δm) антиподальных структур планетарного масштаба пропорциональна асимметрии, выраженной в моменте количества движения ($v_1 \vec{r}_1 > v_2 \vec{r}_2$).

Скорость вращения Земли определяется частотой ротационной волны I порядка. Эта волна образует ротационный свод I порядка, высота (амплитуда) которого приходится на большой радиус плоскости экватора и объясняет его происхождение. Колебания ротационного режима планеты формируют в мантии, коре и на поверхности Земли ротационные своды (гармоники) II, III и более высокого порядка. Амплитуды этих волн литосферы лежат на гребнях ротационных сводов, являющихся их осевыми меридианами. В области гребня ротационного свода давление напряжения в 1,5 раза выше среднего, а на крыльях - в 0,5 раза ниже (Свириденко, 1969). Возникают напряжения сжатия и растяжения ротационного происхождения. Образование меридиональных ротационных сводов и напряжений планетарного масштаба является новым и существенным следствием волновой геодинамики.

Другим важным следствием волновой геомеханики является вывод о том, что осевое вращение планеты, кроме того, вызывает горизонтальное движение (геофлюкцию) материков меридионального направления. Так, например, Евразия в настоящую геологическую эпоху смещается в сторону южного полюса к равносному положению относительно экватора (следствие систематического замедления вращения Земли). Геофлюкционные движения континентов вызывают в литосфере свои напряжения сжатия и растя-

жения широтного простирания.

И, наконец, движение континента вдоль меридиана приводит к тому, что начинают действовать силы Кориолиса, направленные ортогонально к оси ротационного свода. Силы Кориолиса, действуя на ротационный свод, создают по одну сторону его оси положительные, а по другую сторону — отрицательные напряжения.

Таким образом, эти три основные движения вещества Земли, являющиеся непосредственными следствиями вращения планеты, образуют в мантии и на ее поверхности поля основных тектонических напряжений сжатия и растяжения — сводовые, геофлюкционные и кориолисовы. Геодинамическое напряжение ($w = v_1 - v_2$) представляет собой суперпозицию указанных напряжений и захватывает всю глубину Земли. Тем самым, создается сложная картина планетарных и региональных геодинамических напряжений, различных по величине и знаку потенциалов, градиентов и направлению векторов, определяющих геологические особенности. В теле Земли действие указанных напряжений вызывает движение ядерного и мантийного материала, которое может рассматриваться как конвекция динамического происхождения (Пирогов, Изв. Заб. фил. ГО СССР, т. XI, вып. 2, 1970; т. XII, вып. 5, 1971).

Волновая геодинамика не замечает других отделов геологии и имеет строгие границы своей применимости, определяемые свойственным ей диапазоном частот. Так, например, геодинамика определяет характер и количественные параметры тектонических напряжений (Плотников, Петров, 1965), а геохимия, руководствуясь своими законами, учитывает их влияние на течение геохимических процессов (Ициксон, 1969). Геологические процессы, независимо от их специфики, подчиняются основному закону волновой динамики (v_1, v_2), но каждый из них протекает в пределах свойственного только ему диапазона частот. Это создает органическое единство и различие процессов на всех уровнях организации земного вещества.

Волновая геодинамика, с одной стороны, переводит решение уже известных задач в форму волновых задач, а, с другой стороны, изменяя методику решения задач, позволяет получить резуль-

таты, ранее не находившие физического основания. Изучение указанных движений Земли и их проявление в геологических процессах отличает волновую геодинамику от геофизики и тектонофизики в их современном толковании. Геодинамика, как особая наука, имеет право на самостоятельное определение, существование и развитие.

В.В.Богацкий (КОСНИИГТИМС, Красноярск)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ КАК АРЕАЛЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИЛОВЫХ ПОЛЕЙ (КИМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР)

Постоянство простираний систем дизъюнктивов (широко-меридиональных и северо-западно-северо-восточных); их сопряженность; различия в размерах при тождестве узора — свидетельствует о том, что дизъюнктивы выражают системные свойства Земли как планеты.

Планету Землю, как динамическую систему, характеризуют: сферическая форма со средним радиусом в 6370 км; постоянное вращение вокруг оси, испытываемой нутации; собственные колебания при максимальной длине полуволны в 12740 км (диаметр).

Волновая природа полей напряжения в сферическом пространстве может быть реализована только в виде некоторого набора пространственно разрешенных геометрических структур. Такой набор структур определяют, с одной стороны, киматическая природа напряжений (законы отражения и преломления), с другой — симметрия пространства. Для линейных региональных тектоно-магматических структур симметрия пространства может быть (в первом приближении) оценена симметрией окружности. Для окружности, т.е. сечения шара, устойчивой геометрической структурой, удовлетворяющей и симметрии пространства и волновой природе напряжений, оказываются простые правильные многоугольники Гаусса; число сторон их оценивают числа Ферма, т.е. $2^{2k} + 1$; первые пять из них: 3, 5, 17, 257, 65537.

Геологические структуры, обусловленные киматическими процессами, могут проявляться, то как "застывшие" волновые тела

(складки, своды, мульды и т.п.), то как линейно-поясовые формы (вплоть до разрывов), обусловленные стоячими волнами, порождаемыми интерференцией когерентных напряжений. Для стоячих волн типично постоянство расстояний между соседними узлами (пучностями). При длине тела, равном L соблюдается условие:

$$L = n\alpha \quad (I)$$

где n - целые числа, α - расстояние между узлами (пучностями) стоячей волны.

Линейные геологические структуры в соответствии с механизмом формирования стоячих волн должны характеризоваться дискретно-периодическим строением, которое можно теоретически оценить рядом чисел Ферма, т.е.:

$$I:3:5:17:257:65537.$$

Применительно к сечениям земного шара проходящим через диаметр долины имеют место шесть элементов (членов) ряда первой иерархии, а именно: I 12740 км; II 4247 км; III 2548 км; IV 749 км; V 49,6 км; VI 0,194 км. (Для Луны ряд соответственно составит: 1) 3473 км; 2) 1158 км; 3) 695 км; 4) 204 км; 5) 13,5 км; 6) 0,053 км).

Анализ ряда I-VI показывает, что V член характеризует толщину литосферы (50 км), а IV член (749 км) максимально известные глубины зарождения глубокофокусных землетрясений; I член соответствует протяженности крупнейшей общеземной структуры - Евразийского континента (~ 13.000 км).

Элементы V и IV, имеющие самостоятельное геоструктурное (всеземное) значение, представляют обособленные подсистемы. Из геологического опыта известно, что они являются ареной формирования основных геологических структур, т.е. структур второго уровня иерархии. Пространственно IV и V элементы представляют оболочечные сферы, длину волн собственных колебаний которых определяет толщина кольца, равная соответственно 750 и 50 км. На втором уровне иерархии кроме дискретно-периодической закономерности, аппроксимируемой числами Ферма, должны проявляться гармонии (полутона), т.е. квантование кратное двум.

Расчетные размеры линейных геологических структур второго уровня иерархии приведены в таблице:

Уровни квантования	Элементы первого уровня иерархии					
	$\bar{Y} - 750$ км			$\bar{Y} - 50$ км		
	Порядок квантования			Порядок квантования		
	I/2	I/3	I/5	I/2	I/3	I/5
0	750	750	750	50	50	50
I	375	250	150	25	16,5	10
2	187	88	30	12,5	5,5	2,0
3	94	28	6,0	6,2	1,8	0,40
4	47	9,8	1,20	3,1	0,6	0,08
5	23,5	3,1	0,24	1,6	0,2	
6	11,7	1,0		0,8		
7	5,8	0,33		0,4		
8	2,9	0,11		0,2		

Исследование современных вулканно-сейсмических областей Земли показало, что расстояние (шаг) между смежными вулканами составляет 25 - 50 - 100 - 200 км (И.В.Луцицкий, 1971 г.); по данным Клооса для древних вулканов Рейнского свода шаг равен 40-50 км.

Пространственный анализ размещения вулканов активизированных складчатых и платформенных областей показал наличие трех максимумов: главного - для расстояний несколько больших, чем 8 км и двух других, равных соответственно 4,8 и 12,0-12,5 км (С.И.Кравченко, 1966 г.). Максимумы высших порядков, кратны 4,8 и 12,0-12,5 км. Сопоставление эмпирических данных с теоретическими показывает их близость.

В.В.Пистровским (1963 г.) установлена дискретность ряда региональных геолого-геоморфологических структур: соседние

различаются по протяженности в три раза, а по площади в 10 раз (эту закономерность опознали в 1953 г. Капе и Трикар).

Геологические и геоморфологические структуры, как производные силовых полей планеты Земли, характеризуются дискретностью и периодичностью. Климатическая модель их формирования находится в согласии с известными фактами; это дает основание считать ее приемлимой базой для количественных прогнозов, в частности, планирования локального поиска как новых рудных районов, так и отдельных рудных полей; для тех и других эмпирически зафиксирована периодичность локализации (шаг оруденения).

В.И.Васильев (ВСЕГЕИ, Ленинград)

О СТРУКТУРНЫХ ОСНОВАХ КВАНТОВОЙ ГЕОДИНАМИКИ

1. Глубины (h_n) структурных уровней планет с радиусом R от их поверхностей образуют сходящуюся к поверхности планеты геометрическую прогрессию, общий член которой имеет вид (В.И.Васильев, 1971, 1972):

$$h_n = R \cdot 2^{-n \cdot 2^{-m}} \quad (1)$$

где $m = 0, 1, 2, 3$ - номер, характеризующий сложность структуры планеты и зависящий от скорости эволюции; $n = 0, 1, 2, \dots$ - номер структурного уровня, причем $n = 0$ отвечает центру планеты. Для Земли в архее $m = 1$, в протерозое и палеозое $m = 2$, в мезокайнозое $m = 3$, для Луны и Марса $m = 2$. Радиусы внутренних уровней планет (r_n) вычисляются по формуле:

$$r_n = R \left(1 - 2^{-\frac{n}{2^m}} \right) \quad (2)$$

Радиусы внешних уровней планет R_n вычисляются по формуле

$$R_n \cdot r_n = R^2 \quad (3)$$

Таким образом, поверхность планеты представляет собой предел двух сходящихся последовательностей структурных уровней - внутренних и внешних, сферическую поверхность инверсии-

онной симметрии в зону наибольших значений градиента структурной анизотропии. Поверхность геоида есть зона возникновения месторождений, биосферы и ноосферы (В.И.Васильев, 1971; Я.А.Виньковецкий, 1971).

Линейные размеры объектов на поверхности планет (l_n): радиусы кольцевых и куполовидных, полуоси эллиптических форм, размеры блоков, шаг между разломами, хребтами, реками, длины линейных форм (В.И.Васильев, 1971, 1972, В.Немец, 1972, М.М.Шемякин, 1962, 1971, М.А.Чурилин и др., 1968, П.В.Флоренский и др., 1968) также описываются формулой (1), причем $l_n = h_n$.

Площади объектов S_n в пределах поверхностей планет (имеющих площадь $S_0 = 4\pi R^2$) также образуют геометрическую прогрессию:

$$S_n = S_0 \cdot 2^{-\frac{n}{2^m}} \quad (4)$$

Аналогично - для объемов объектов.

Возраст эпох структурной перестройки Земли T_n , может быть вычислен по формуле (1), если заменить R на T_0 .
 $T_0 = 4,952$ млрд лет - предполагаемый возраст Земли.

В плейстоцене колебания поверхности геоида относительно стабильных щитов угасают к современной эпохе в геометрической прогрессии, причем возрастные интервалы каждого колебания убывают в той же прогрессии. Если принять за монар астрогеологического времени $11,2$ лет (Б.С.Гуревич, М.Я.Иоселева, 1965), то за этот период поверхность геоида должна опуститься на $2 \times 1,35$ мм и подняться на $2 \times 1,35$ мм. Тогда постоянная действия Земли (H) равна: $H = E \cdot t = mgh = 1,75 \cdot 10^{38}$ эргхсек, где E - энергия колебания поверхности геоида, m - масса гидросферы, атмосферы и твердой поверхности мощностью $1,35$ мм, g - ускорение силы тяжести, h - средняя высота колебания, $t = 11,2$ лет - монар.

Если ν_n - частота n -го общепланетарного периодического процесса (осциллятора), то

$$E_n = H \nu_n \quad (5)$$

где E - квант энергии n -го осциллятора.

Рассмотрим систему концентрических куполов, радиусы которых в плане возрастают от центра в $2^{I/2}$ раз, а кривизна убывает. Пусть внешний купол имеет номер n по формуле (I) при $m = I$, а внутренний — номер $(n+k)$ и глубинный уровень его заложения имеет тот же номер, т.е. радиус купола в плане равен глубине его заложения. Тогда номера уровней заложения очагов внешних куполов последовательно убывают на 2, и внешний купол с радиусом r_n заложен на уровне с номером $((n-k))$.

Таким образом, по мере перехода от внешних куполов к внутренним глубина их заложения и энергия очагов уменьшаются, а объемная плотность энергии возрастает в геометрической прогрессии пропорционально квадрату радиуса купола в плане. Число изометрических форм (N) — куполов, ореолов — данной площади и величина площади (S_n) связаны гиперболической зависимостью: $N \cdot S_n = \text{const.}$ (П.В.Флоренский и др., 1968, А.Н.Мельгунов, 1971). Допустим, что купола фиксированной площади заложены на одном и том же структурном уровне. Тогда $N \cdot S_n = \text{const.}$, в силу прямой пропорциональности S_n и E_n , где E_n — энергия формирования купола. Отсюда вытекает, что энергия геодинамических напряжений планеты в данный момент времени распределяется по ее внутренним структурным уровням равными порциями, что согласуется со II законом термодинамики и определяет наличие числа 2 в формулах, описывающих пространственно-временную структуру планет и объектов других уровней организации.

В Солнечной системе величины средних расстояний орбит планет, перигелиев и афелиев Марса, Меркурия и трех поясов астероидов между Марсом и Юпитером убывает в геометрической прогрессии к околосолнечной сфере радиусом в 0,16 а.е. (астрономических единиц). Прогрессия может быть вычислена по формуле (I) при $m = I$, причем среднему радиусу орбиты Плутона присвоен $n = 0$. В отличие от правила Тициуса-Боде, модифицированная формула позволяет вычислить орбиту Нептуна и положение промежуточных уровней между Ураном и Сатурном, Сатурном и Юпитером. Относительно предельной околосолнечной сферы с

$R = 0,16$ а.е. по формуле (3) вычисляются радиусы внутренних структурных уровней. Спиральные структуры Земли, Луны и галактик описываются идентичной формулой:

$$e = 2 \psi \operatorname{ctg} \alpha \quad (6)$$

где e - подвижный радиус-вектор, ψ - угол поворота радиуса-вектора, $\alpha = \operatorname{const}$ - угол между радиусом-вектором и касательной к спирали в данной точке.

В.И.Васильев (ВСЕГЕИ, Ленинград)

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРАННЫХ ФОРМ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЛАНЕТ

В пределах поверхностей планет выделяются элементарные геометрические формы трех размерностей: нульмерные (точечные) куполовидные и кольцевые формы, одномерные (линейные) - разломы, впадины, рифты и т.д. и заключенные между ними двумерные (площадные) формы. В окрестностях точечных и линейных форм кривизна поверхности геоида значительно превышает кривизну площадных форм, поэтому естественно отождествить точки с вершинами, линии с ребрами, а площади с гранями некоторых многогранников. Выделяется последовательность многогранников, начиная от платоновских и кончая такими, число вершин и граней которых достигает десятка тысяч.

Тетраэдрическая форма Земли описана Л.Грином (1875, 1897), Б.Л.Личковым (1965), И.И.Шафрановским (1968), Луны - Р.З.Левковским (1968). Вершины тетраэдра Земли расположены южнее Исландии, в Курилах, на острове Пасхи и в южной развилке Индийского срединно-океанического хребта. Они фиксируются гравитационными и магнитными аномалиями, деформациями и приливными статическими аномалиями уровня океана и статическими минимумами атмосферного давления (И.В.Максимов, 1970; Р.М.Деменицкая, 1967). Ребра тетраэдра, соединяющие вершины, проходят через оба полюса планеты, вдоль срединно-океанических хребтов рифтовых морей, островных дуг и побережий крупнейших материков. Противоположные ребра тетраэдра, повернутые на 90° относительно

друг друга обладают противоположными тенденциями: если вдоль одного ребра происходит растяжение, то вдоль другого - сжатие. Тетраэдр вписан в кубическую форму, причем его ребра являются диагоналями граней куба, а вершины совпадают с 4 вершинами куба. Остальные вершины куба расположены в верховье Обско-Тазовской губы, в центре Канады, на южном окончании Атлантического хребта и юго-восточной морской окраине Австралии. Широтные северные ребра куба совпадают с Транссибирским пинеаментом (В.И.Драгунов, 1962, 1965) и его глобальным широтным продолжением. Широтные южные ребра куба совпадают с широтной глобальной системой срединно-океанических хребтов. Северные ребра являются зонами сжатия, южные - зонами растяжения. Меридиональные ребра являются в северной части зонами сжатия, а в южной - зонами растяжения. Возникновение многогранников связано с проседанием верхних оболочек литосферы на сжимающиеся нижние, причем число вершин многогранников равно числу лучностей волн напряжений. Распирение внутренних оболочек приводит к растяжению и утончению центров граней внешних оболочек, т. е. к сохранению многогранников. Поскольку шарнирные оси изгиба ребер расположены значительно ниже поверхности геоида, формирование ребер при увеличении кривизны поверхности геоида в их окрестностях должно сопровождаться увеличением структурной рыхлости мантии, что и наблюдается в действительности. При этом вещество мантии, вспучиваясь, может достигать поверхности геоида, что подтверждает взгляды С.В.Москалевой (1961, 1964), А.В.Пейве и др. (1969) об амгаматическом внедрении гипербазитов. Пересечение гипербазитовым веществом поверхности геоида, как зоны рудогенеза, сопровождается дифференциацией вещества и формированием залежей хромитов. Разуплотненные гипербазиты срединно-океанических хребтов при латеральном сжатии (складчатости) выдавливаются на поверхность, линзуются и сминаются в складки. Т.о., формирование и отмирание многогранников, их ребер имеет прямое отношение к развитию геосинклиналей и складчатых областей (В.И.Васильев, 1965).

Увеличение количества граней многогранников сопровождается уменьшением глубины их заложения (В.И.Васильев, 1971).

Если поверхность геоида при сохранении ее площади деформировать в многогранник и вычислить радиус вписанной сферы, то разность между радиусом планеты и данной сферы и является глубиной заложения многогранника. Сравним для платоновских многогранников глубины их заложения и глубины ближайших к ним границ оболочек. Для тетраэдра они составляют 2876 и 2912 км (отклонение 1,3%), для куба - 176 и 1784 км (2%), для октаэдра - 1456 и 1417 км (2,7%) для икосаэдра - 943 и 945 км (0,2%), для додекаэдра - 836 и 866 км (3,4%).

Вслед за платоновскими многогранниками идут полуправильные и др., причем по мере уменьшения глубины их заложения вдвое, во столько же раз примерно увеличивается количество вершин. Так, на глубине 364 км может быть заложен 32-вершинный, на глубине 45,5 км - 256-вершинный, на глубине 2,8 км - 4096-вершинный многогранники (это одна из моделей, реализуемых природой).

Грани многогранников имеют форму сферических правильных, равнобедренных и прямоугольных треугольников, квадратов, пятиугольников, шестиугольников, ромбов и менее правильных фигур.

Поскольку тетраэдр есть пространственный симплекс, ни одна фигура не может быть заложена глубже - в земном ядре, т.е. граница внешнего ядра и мантии является предельной глубиной заложения очагов напряжений, вызывающих механические следствия на поверхности. Заметим, что именно по приближению к внешнему ядру достигает максимальных значений ускорение силы тяжести и, скорость сейсмических волн.

В атомах на S - оболочке находятся 2 электрона в 2 состояниях ориентации спина, т.е. эта оболочка имеет конфигурацию тетраэдра. Возникает соблазнительная, но опасная аналогия: не отвечает ли граница внешнего ядра и мантии Земли по энергетической природе S - оболочке атома?

РЕГУЛЯРНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР - МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
ГЕОЛОГИЯ - ГЕОДИНАМИКА

Автором эмпирически открыта формула $\varphi_x = 2^{-x} \cdot D$, где φ - расстояние между соседними структурными линиями порядка x , D - диаметр Земли. Формула выражает естественную регулярность геологических структур различных порядков и их тенденцию к дроблению. Подставив в формулу диаметр Луны, Марса и др. тел, получим закономерности распределения на них структурных линий. Эта закономерность может быть использована в теоретической геостатистике и геодинамике, а также при прогнозировании месторождений. Предполагается связь порядков структурных линий с глубиной их заложения (см. формулу В.И.Васильева, 1971: $h_n = R \cdot 2^{-\frac{n}{m}}$).

Под математизацией геологии понимается внедрение математических методов (и ЭВМ) в повседневную практическую деятельность геологов для решения геологических задач на более высоком качественном уровне с учетом накопленного огромного фактического материала. Математические модели в геологии (У.Крумбейн, Ф.Грейбилл, 1969) можно сгруппировать в несколько типов: статистические (модели стохастических процессов) и детерминированные. С точки зрения практического использования детерминированные модели представляются более удобными. Все наблюдаемые геологические явления и объекты четко локализованы в пространстве и являются результатом многих геологических процессов, подчиняющихся детерминированным закономерностям, чем затрудняется статистическая обработка данных. Удобным аппаратом, например, является вариограмма, созданная Х.Матероном (1969), в которой намечаются регулярные границы структур различного порядка как аномалии. Периодический характер многих явлений выражается гармоническим анализом.

Применение математических методов для исследования геодинамических проблем пока тесно связано с решением традиционным в геофизике. Нужна постановка задач математических геологов, свежий нетрадиционный подход которых вел бы к ускоре-

нию прогресса науки.

При исследовании регулярности автору пришлось познакомиться с неопубликованной работой Алоиза Немца (1886-1959) "Физические основы географии и палеогеографии", в которой обнаружены ценные замечания для теории геодинамики. Самый важный вывод касается динамического равновесия между приливообразующими силами, воздействующими на неоднородную земную кору, и гравитационным полем Земли. Хотя величина приливообразующих сил кажется незначительной в сравнении с силой земного притяжения, превышающей их в 10^7 раз, постоянство их действия (2х365 раз в год) вполне объясняет их важную роль. От динамического равновесия по А.Немцу можно прийти к объяснению природы сил, вызвавших вертикальные и горизонтальные движения материков, трансгрессии морей, складно-образовательные процессы, движение полюсов и т.д.

Имея в виду регулярность геологических структур, детерминированную теми силами, которыми занимается геодинамика, можно рекомендовать следующие направления дальнейшего развития:

- а) исследование связи поверхностных структур различных порядков с глубинными эндогенными процессами;
- б) развитие идей А.Немца на современном уровне знаний;
- в) создание алгоритмов для математического моделирования движений материков и полюсов с учетом постоянной склонности материков и распаду на меньшие единицы по указанной выше формуле.

После успешного создания алгоритмов можно предвидеть быстрое развитие познания закономерностей распределения месторождений многих полезных ископаемых (руды, залежи нефти и т.д.) и подойти к решению технических проблем, связанных, например, с эксплуатацией месторождений (системы трещин и др.).

ГРАВИТАЦИОННОЕ СЖАТИЕ-РАСШИРЕНИЕ ПЛАНЕТЫ КАК ОСНОВА ГЛОБАЛЬНОЙ ГЕОДИНАМИКИ

Изучение радиологического возраста пород, являющихся членами вулcano-плутонических формаций и многофазных интрузивов, показало, что период между пульсациями магматического очага прямопропорционален значению абсолютного возраста горных пород, производных этого очага; коэффициент пропорциональности равен 0.142 ± 0.022 . Наличие такого рода закономерности заставляет считать, что в рассматриваемых случаях мы имеем дело с анатектическим магмообразованием, т.е. с образованием магматического расплава под воздействием интрателлурического потока (Коржинский, 1968; Кузнецов, Изох, 1969; Велинский, Моламед, Шаронов, 1969). Функционирование магматических очагов при этом отличается циклическостью, а полный цикл состоит из фазы накопления вещества (энергии) и фазы разрядки.

Сокращение периода между пульсациями очагов анатектической магмы с течением времени свидетельствует о непрерывном нарастании энергетической мощи интрателлурического потока в процессе развития Земли.

Усиление мощности интрателлурического потока с течением времени, а также синхронный, общепланетарный характер пульсаций, можно объяснить только в том случае, если принять, что основной земной теплотой является энергия гравитационного сжатия (Фесенков, 1957). Несмотря на отсутствие физической теории гравитационного сжатия, удалось построить довольно строгую логическую модель пульсирующей Земли. Краткая суть ее такова. Так как в нестационарной Вселенной широко распространены пульсации и дискретность энергопроявления, можно предположить, что уплотнение вещества Земли от стадий протопланетного облака и до современного состояния должно также иметь дискретный характер и происходить импульсивно. Действительно, геологические исследования с несомненностью установили непрерывно-прерывистый характер развития земной коры, смену знака движений

и ритмичность тектогенеза.

Импульсы сжатия вызывают поток легких веществ — теплоносителей из глубинных оболочек Земли. Эти вещества составляют основу интрателлурического потока, под воздействием которого образуются ритмично-пульсирующие очаги анатектического магмособразования. Вещество, перемещенное из глубинных оболочек в земную кору, образует кристаллические формы с возросшим удельным объемом, что имеет следствием расширение Земли.

Ритм пульсаций удалось описать с помощью формул:

$$T_k = 2580 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{k-1} \quad \text{млн. лет} \quad (1)$$

и

$$\Delta t = 0,125 \frac{T_k + T_{k+1}}{2} \quad (2)$$

где k — порядковый номер импульса сжатия, Δt — период между пульсациями очагов анатектической магмы в течение тектономагматической эпохи от времени T_k до времени T_{k+1} , 2580 млн. лет — время проявления первого импульса сжатия (половина астрономического возраста Земли).

С помощью формул (1) и (2) была построена шкала времени (автор назвал ее "шкалой времени гравитационного сжатия-расширения Земли" — ШВ), на основе которой составлена геисторическая таблица, отображающая геологическую историю, периодичность и темп происходивших в ней событий. Сопоставление радиологических датировок этих событий с ШВ позволяет установить причинно-следственные связи многих явлений в жизни планеты. Время проявления импульсов сжатия и пульсаций магматических очагов, вычисленное по формулам (1) и (2), совпадает со временем проявления главных фаз магматизма, метаморфизма, рудообразования, с биостратиграфическими и климатостратиграфическими рубежами. Импульсы сжатия определяют начало той или иной тектономагматической эпохи.

С импульсами сжатия-расширения связаны также тафрогенез, заложение подвижных поясов и авлакогенов, образование сбросовых структур разных порядков. Время проявления пульсаций совпадает с "фазами складчатости" или, точнее, с теми угловыми

несогласиями, по которым выделяются тектонические деформации.

Таким образом, глобальность и синхронность всех главных тектоно-магматических проявлений на планете является непосредственным следствием ее гравитационного сжатия.

Б.А.Ермолаев (ВСЕГЕИ, Ленинград)

БАРИЦЕНТР СИСТЕМЫ "ЗЕМЛЯ-ЛУНА" И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ГЕОМАГНИТНЫХ ПОСТРОЕНИЙ

Барицентр или центр масс Земли и Луны описывает почти идеальную кеплерову околосолнечную орбиту, общую для системы Земля-Луна. Устойчивое положение барицентра на околосолнечной орбите подтверждается устойчивостью системы в целом.

Вместе с тем, следует учитывать, что барицентр системы Земля-Луна располагается в теле Земли и непрерывно мигрирует, изменяя за 1/2 сидерического месяца свои вертикальные (радиальные) координаты на 600 км, а горизонтальные (дуговые) - примерно на 1700 км. Положение барицентра - глубина относительно поверхности геоида - изменяется за 1/2 сидерического месяца от 1470 до 2070 км. Соответственно миграция барицентра происходит со скоростью $\sim 0,5$ м/сек по радиусу и ~ 12 м/сек по горизонтали. Кривая, образуемая барицентром в теле Земли в течение одного сидерического месяца, представляет собой незамкнутую (спиралевидную) кокхоиду.

Устойчивость барицентра на околосолнечной орбите и одновременная неустойчивость барицентра в теле Земли выражается в непрерывном и, вместе с тем, прерывистом (импульсном) изменении динамических напряжений, обуславливаемых нарушением статического равновесия, а, следовательно, изменением гравитации.

Изменение гравитационных параметров Земли вызывает изменение ее объема и, таким образом, термодинамических и механических параметров планеты. Вполне естественно, что термодинамические процессы, которые имеют существенно внутривоздушное

происхождение, оказывают со своей стороны определенное влияние на местоположение барицентра в теле Земли. Следует однако иметь в виду, что наибольшие деформации испытывает мантия, так как содержит основную массу (~ 70%) нашей планеты.

Принимая во внимание, что сила, удерживающая систему Земля-Луна на околосолнечной орбите непрерывно, импульсно и направленно изменяется, также изменяются связанные с этой силой динамические, а точнее - геодинамические напряжения в теле Земли.

Зная, что масса системы Земля-Луна составляет более $6 \cdot 10^{27} \text{ г}$ можно констатировать, что даже минимальные флуктуации рассматриваемой системы относительно барицентра сопровождаются соразмерными приведенной величине геодинамическими напряжениями.

Весьма существенным обстоятельством является импульсный характер этих напряжений, выполняющих в этой связи также роль "куркового" механизма многих катастрофических явлений, непосредственно фиксируемых земной корой. Это обстоятельство несомненно имеет прямое отношение и прогнозированию мантийных землетрясений.

Заслуживает внимания также конхoidalный характер траектории барицентра, оказывающий, вероятно, влияние на форму геоида в его широтном срезе.

Весьма существенное значение, по мнению автора, имеет изучение кинематики барицентра и оси апсид для выяснения природы магнитного поля Земли.

Барицентрический аспект установления природы геомагнитного поля позволяет подойти к решению проблемы о самовозбуждении земного магнетизма не прибегая к гипотетическим посылкам о вероятностном строении ядра Земли и природе предполагаемых в нем электрических токов.

Основные положения:

1) Относительная нестационарность системы Земля-Луна и одновременная устойчивость тороидальной орбиты барицентра

предопределяют характер и интенсивность геодинимических напряжений.

2) Нестационарность системы и неразрывно связанные с ней термодинамические процессы контролируют состояние и становление Земли или ее частей в определенный момент времени.

3) Одновременное вращение Земли вокруг собственной оси, оси апсид и плюс вращение оси апсид служит объективной подсказкой для выяснения вопроса о происхождении геомагнитного поля.

Г.М.Стовас (ДГИ, Днепропетровск)

О ВЛИЯНИИ РОТАЦИОННОГО РЕЖИМА ЗЕМЛИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Глобальные тектонические процессы и создаваемые ими структуры, в первую очередь, глубинные разломы контролируются ротационным режимом Земли. Последний, в частности, определяет крупнейшую деформацию земного шара - его полярное сжатие.

Ротационный режим вызывает силы, связанные с: 1) равномерным вращением Земли - "полусобежные силы", 2) неравномерным вращением Земли, 3) вековым изменением положения оси вращения Земли.

Не рассматривая природу этих сил, сделаем попытку сравнить их.

Полусобежные силы, как считает Б.Гутенбер (1939), возникают при наличии разности уровней центров тяжести массивов кристаллических пород. Так для смещения континента, занимающего площадь от экватора до полюса, необходимы усилия $\sim 10^6$ дин.

Величина полусобежных сил, рассчитанная автором по значениям высот геоида (данные Конголовича, 1963), составляет $F_{\text{ж}} \sim 10^{10}$ дин, а по значениям средних аномалий силы тяжести

(данные Хирвонена, 1934) - $F_x \sim 10^{12}$ дин.

Силы, определяемые неравномерностью вращения Земли, вызывают широтные и меридиональные напряжения, и, как следствие, образование и оживление глубинных разломов и складчатости тех же направлений. Как показали Лейбензон (1910) и Вероне (1912), замедление вращения Земли сопровождается также усилением землетрясений и вулканической деятельности. М.В.Стовас (1958, 1960) рассчитал распределение напряжений по широте и глубине, возникающих за счет неравномерного вращения Земли.

Согласно данным палеомагнетизма, в прошлые геологические эпохи северный магнитный полюс занимал отличное от современного положения. Перемещение полюсов от одной эпохи к другой носит закономерный характер. Допустим, что для всех эпох земная ось приблизительно совпадает с осью магнитного диполя. Тогда полученные по палеомагнитным данным углы смещения оси вращения Земли можно использовать для оценки сил, вызывающих это смещение.

Вращающаяся Земля представляет собой громадный направляющий гироскоп. Несмотря на сравнительно небольшую угловую скорость вращения, она обладает значительным моментом движения, который определяет ее способность сопротивляться воздействию внешних сил.

Если предположить, что Земля, представляющая однородное упругое тело, находится в магнитном поле с некоторым градиентом, то главный момент всех внешних сил может быть представлен как момент силы относительно некоторой точки на оси вращения. При этом получаются следующие значения усилий, необходимые для смещения оси вращения Земли: $N = 0,6 \cdot 10^{17}$ дин;

$$P_g = 0,22 \cdot 10^{15} \text{ дин, } C_r = 1,2 \cdot 10^{15} \text{ дин, } J = 1,0 \cdot 10^{15} \text{ дин.}$$

Для качественной и количественной реконструкции полей напряжения Земли могут быть использованы системы глубинных разломов, основные свойства которых - линейная вытянутость, геометрически правильное пространственное расположение, планетарная распространенность, независимость от состава и строения рассекаемых ими блоков - связаны именно с глобальными тектоническими процессами.

На Украинском щите по данным интерпретации гравитационных и магнитных полей, а также геологической съемки нами выявлены следующие преимущественные направления глубинных разломов: $0-5^{\circ}$, $85-95^{\circ}$, $120-125^{\circ}$, $135-140^{\circ}$, $30-35^{\circ}$, $50-55^{\circ}$. Аналогичные системы разломов выделены в восточной части Балтийского щита (В.А.Токарев, 1968, А.И.Петров, 1970), на Адданском щите (Р.И.Гришкян, 1969) и т.д., что свидетельствует о строгой ориентировке полей напряжений, предопределивших размещение глубинных разломов, и не оставляет сомнений в общности причины, их породившей.

Рассмотренные силы являются лишь частью сил определяющих тектонические особенности Земли, но они вносят существенный вклад в образование тектонических структур.

В.В.Соловьев (ВСЕГЕИ, Ленинград)

КОНФОКАЛЬНЫЕ ПАЛЕОМОРФОСТРУКТУРЫ КАК ОТРАЖЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕКТОГЕНЕЗА

В последние годы внимание исследователей все чаще начали привлекать кольцевые элементы рельефа, являющиеся геоморфологическим выражением структур центрального типа. Купольные, купольно-кольцевые и кольцевые морфоструктуры описаны в различных районах Советского Союза и зарубежных территорий.

Повышенный интерес к этим структурам объясняется помимо их научной значимости и чисто прикладными запросами, поскольку они часто являются рудоконтролирующими.

Выделяясь по комплексу геологических, геофизических, тектонических и геоморфологических признаков, эти формы обычно рассматриваются как частное проявление геоморфогенеза. Купольные и купольно-кольцевые формы рельефа в большинстве случаев описываются как единичные (реже групповые) геоморфологические категории, связанные или с очаговыми вулканоплутоническими и криптоплутоническими структурами или являющиеся реликтами вулканических и кальдерных построек. Возникновение их обуславливается вулканической или интрузивной деятельностью,

вызванной разуплотнением вещества и механическим воздействием на жесткую кору (динамическое воздействие коровых магм). Действительно в современном (неотектоническом) плане земной поверхности, морфоструктуры центрального типа всюду, кроме молодых вулканогенов, имеют сугубо подчиненное значение, выступая как локальные образования на фоне линейных складчатых и блоковых структур. Однако, подобное соотношение, учитывая краткость и незавершенность неотектонического этапа, едва ли может быть показательным для тектонического развития земной коры в целом. Очевидно, что при выяснении роли структур центрального типа в процессе планетарного тектогенеза важно иметь информацию о их распространении и в предшествующие этапы эволюции литосферы. Существенную помощь в этом отношении оказывает палеогеоморфологический анализ.

Детальные геоморфологические исследования в пределах Дальнего Востока, картирование палеоморфоструктур центрального типа по территории СССР в масштабе 1:7500000 и материалы по зарубежным территориям, дали возможность установить ряд общих закономерностей пространственно-временного развития рассматриваемых объектов.

Весьма характерна повсеместность распространения структур центрального типа. Они выявляются практически во всех геоструктурных областях. Массовое распространение кольцевых палеоморфоструктур и их своеобразный рисунок на упомянутой карте делает последнюю весьма схожей с тектонической картой Луны и плановыми фотоизображениями поверхности Марса, подчёркивая общность некоторых особенностей тектоники различных небесных тел.

Наиболее общим для всех морфоструктур центрального типа являются изометрические, обычно округлые очертания и радиально-концентрическое расположение карасных элементов. Индивидуальное отличие строения предопределено спецификой происхождения различных групп морфоструктур, которые могут быть связаны и с древними докембрийскими гнейсовыми куполами, и с трубками взрыва, и с внедрением батолитов, штоков и кольцевых интрузий, и с вулканоплутоническими процессами и непо-

средственно с вулканической деятельностью и даже с падением крупных метеоров.

Зесьма обширную группу составляют собственно конфокальные структуры, образованные конически сходящимися к единой оси трещинами и нарушениями. Основные концентрические элементы имеют падение (обычно под большими углами) к центру структур. Проекции на дневную поверхность этих ослабленных зон преопределяют возникновение геометрически правильных кольцевых и радиальных элементов морфоструктур. Явления диапиризма при динамическом воздействии магм, в процессе возникновения этих форм, существенного значения не имели, хотя позже интрузивные тела могли использовать (и использовали) ослабленные участки для своего внедрения. Механизм образования конфокальных структур еще недостаточно изучен. Представляется, однако, что наиболее полно он объясняется волновой природой деформаций, достаточно подробно рассмотренной Л.М.Плотниковым и А.И.Петровым. Определенная конвергентность морфоструктурных признаков различных групп структур центрального типа основывается на принципиально общем способе возникновения их — за счет направленного высвобождения энергии из отдельных центров, связанных с верхней мантией или поверхностями раздела глубоких горизонтов земной коры.

Другой важной особенностью рассматриваемых форм является их гетерохронность. Судя по взаиморасположению структур, нередко наложенных друг на друга с частичным или почти полным перекрытием, и основываясь на геологических данных, можно говорить о ряде разновозрастных генераций — от докембрия до кайнозоя включительно. Для конфокальных структур (а соответственно и морфоструктур) характерно длительное прерывистое развитие, при котором периоды покоя чередуются с периодами активизации.

Показательно определенное влияние планетарных линейментов на пространственное размещение рассматриваемых структурных форм. Так, сибирский и Трансзиатский линейменты В.И.Драгунова выступают как граничные зоны, разделяющие конфокальные структуры первого порядка и области "сгущения"

низкопорядковых таксонов. Дизъюнктивные нарушения корового заложения влияют главным образом на низкопорядковые структуры, иногда разбивая их на изолированные сегменты и секторы, но чаще подчеркивая их концентричность. По отношению к складчатым деформациям конфокальные структуры в большинстве случаев являются секущими, конформность отмечается лишь при совпадении во времени периодов активизации рассматриваемых структур и процессов складкообразования.

Описываемые объекты достаточно четко подразделяются по своим размерам на семь порядков — от низкопорядковых, измеряющихся единицами километров, до высокопорядковых, достигающих в поперечнике тысяч км. Количественное соотношение разнопорядковых структур в целом обратно пропорционально рангу таксонов. Конфокальные структуры встречаются во всех классах, кроме самого низкопорядкового.

Длительное прерывисто-пульсирующее развитие конфокальных структур сопровождается проникновением в верхние горизонты коры, в активизационные периоды, рудоносных флюидов. Предварительное изучение 76 рудосодержащих конфокальных структур 3-го и 4-го порядков для востока СССР выявило историческую неравномерность интенсивности их оруденения. Из 159 рудопроявлений в пределах этих структур на долю докембрийской минерализации приходится 12%, палеозойской — 19%, мезозойской — 50%, кайнозойской — 19%. Такая неравномерность объясняется в значительной мере различной глубиной денудационного среза разновозрастных толщ.

Изложенные особенности конфокальных структур, включая закономерную приуроченность рудопроявлений к концентрическим морфоструктурным элементам, открывает возможность для целенаправленного поиска месторождений с использованием экономически высокоэффективного палеоморфоструктурного анализа.

ДУГОВЫЕ МЕГАСТРУКТУРЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАЗВИТИЯ

Дугообразные и некоторые линейные поднятия, сопровождающиеся мантийной сейсмичностью и широко развитые в геосинклинальных и эпигеосинклинальных орогенных подвижных поясах, представлены то одинарной, то двойной дугой и образуют фронтальную геоантиклиналь. Она обращена к передовому прогибу, а с тыла сопряжена с геоантиклиналью "третьей дуги", отделенной от нее то узким, то широким прогибом. В подвижных поясах многие системы 2-3 дуг ориентированы двояко - с противоположными положениями всех указанных выше неоструктур - и вместе с другими более древними дугами входят в сложные совокупности дуг - токсоногенные мегаструктуры. Мегаструктуры подразделяются на неправильные и правильные. У первых многие или единичные дуги пересечены дугами той же мегаструктуры или соседних мегаструктур. У более редких правильных мегаструктур все дуги прослеживаются по простиранию полностью.

Для правильных мегаструктур выработана классификация по 4-м основным признакам пространственно-временного положения проявлений тектонической активизации: 1) по взаимоположности падения фокальных зон (или положения передовых прогибов) - два типа; 2) по периодической обратимости вектора латеральной миграции магматизма, происходящей в несовмещенные этапы вкрест и по простиранию мегаструктуры - 4 группы в каждом типе; 3) по количеству и взаимоположению дуговых поднятий и прогибов в последовательно усложняющихся мегаструктурах с периодическими изменениями их типов и групп - $9+10$ ($n-1$) видов (где n - двойное число взаимообращений фокальных зон); 4) по сочетаниям дуговых поднятий и прогибов с фронтом активных проявлений магматизма - от $I7+I8$ ($n-1$) до $72+80$ ($n-1$) подвидов. С помощью классификации вскрывается закономерность, что процесс формирования правильных мегаструктур любой сложности сводится к преобразованиям пяти стадий одного полуцикла, повторенным $2n$ раз с периодической обрати-

мостью вектора латеральной миграции зоны тектогенеза (т.е. с чередованием прямых и обратных полувихров).

Стадийные преобразования заключаются в следующем. На первой стадии воздымается единая дуга и закладывается передовой прогиб с крутой, короткой фокальной зоной, на 2-ой - дуга делится узким осевым прогибом на "третью" и одинарную фронтальную дугу, на 3-й возникает срединный прогиб, фронтальная дуга становится двойной, а вся система - тройной, на 4-й - осевой прогиб между "третьей" и фронтальными дугами расширяется до размера котловины. На этих стадиях фокальная зона углубляется и выполаживается, а передовой прогиб углубляется. Преобразования I-4 стадий на простирании мегаструктуры происходят с опережением в центре в отношении флангов по схеме: 0001000-0012100-0123210-1234321. На 5-ой стадии двойная фронтальная дуга от флангов к центру перестраивается в одинарную при воздымании срединного прогиба, а фокальная зона становится круче и короче (иногда до исчезновения). Затем закладывается новый передовой прогиб в котловине с тыла' фронтальной дуги, и с ней начинаются преобразования 6-10 стадий обратного полувихра (аналогов I-5 стадий, но с противоположным вектором).

Тектогенез мегаструктур обусловлен развитием зон ползучей подвижности в подкоровой мантии, в которых взаимодействуют плотностные градиенты: вдоль оси зон - вертикальный отрицательный (ВОПГ), а вдоль краев - пары вертикальных положительных (ВППГ) и латеральных, направленных встречно (ЛПГ). Под мегаструктурами поверхности МОХО и слоя волноводов значительно наклонены, в силу чего пары ВППГ и ЛПГ резко неравновелики и зоны ползучей подвижности смещаются латерально в сторону меньших ВППГ и ЛПГ. Смещаясь, эти зоны возбуждают плотностную дифференциацию на границе коры и мантии и дает начало нисходящим скапливаниям фокальной зоны. Вертикальные воздействия этих зон на кору ускоряют процесс ее изостатической ползучей подвижности, а их латеральное движение усложняет характер проявлений изостазии и приводит к показанному выше стадийному развитию поднятий и прогибов. По мере развития фокальной зоны

за счет выжимания блоков разуплотненного материала в ее средней части, развивается вздутие поверхности слоя волноводов под расширяющейся котловиной и в конечном результате наклон этой поверхности изменяется на противоположный, что приводит к переориентировке всей системы тектогенеза. При резко неравных параметрах латеральных смещений в прямые и обратные полциклы вместо правильных развиваются неправильные мегаструктуры: фронтальные геоантиклинали надвигаются на геоантиклинали "третьих" дуг, образованные в предыдущие циклы в собственной и смежных мегаструктурах (в последних и на "третьи" дуги того же цикла). При этом геоантиклинали "третьих" дуг с недостаточно мощной корой погружаются в корни надвигающихся фронтальных геоантиклиналей и структурно исчезают (пассивно-неправильные). Если же кора "третьей дуги" мощна, фронтальная геоантиклиналь примыкает к ней (ложные двойные и тройные дуги), разделяющий их передовой прогиб инверсируется и возникает фронтальная обращенная геоантиклиналь с более мощной корой (активно-неправильные). В эшелонированных поясах активно-неправильных мегаструктур фронтальные многократно обращенные геоантиклинали за счет "третьих дуг" и прогибов приобретают кору мощностью до 70-100 км. Латеральные движения таких поясов связаны с глобальными перестройками слоя волноводов, которые определяют основные преобразования в тектоническом обличье земного шара.

А.В.Долицкий (ГИН, Москва)

СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Системы линейных структурных элементов земной коры — разломов и трещин — как в своем непосредственном выражении, так и отраженные в рельефе и геофизических полях, давно уже рассматриваются как отпечатки полей напряжений и используются для реконструкции этих полей. Однако существующие методы реконструкции страдают рядом недостатков, которые не позволяют использовать их на больших площадях. Те из методов, которые оперируют всем комплексом сопутствующих линейным элементам

геологических признаков (ориентация сопряженных сдвигов, надвигов, сбросов, складок) могут обычно собрать их лишь на некоторых ограниченных участках областей современного горообразования. Методы статистической обработки направлений трещин и разломов, не требующие знания условий их геологического проявления, более универсальны и позволяют привлекать данные о линейных элементах рельефа и геофизических полей. Оба методических подхода дают в конечном счете суммарный отпечаток полей, но не предусматривают их разделения на составляющие. А между тем лишь нахождение составляющих позволило бы по их форме сделать вывод об источниках этих полей.

Для решения этой задачи нами была разработана специальная методика. Она предусматривает проведение анализа в три этапа: 1) нахождение на отдельных участках преобладающих направлений линейных элементов (размеры анализируемых участков постепенно уменьшаются для выделения фрагментов полей увеличивающейся кривизны), 2) отбор среди направлений ортогональных пар, являющихся отпечатками полей напряжений, 3) трассирование отобранных направлений от одного участка к другому, принимая кривизну линий постоянной или мало меняющейся. Масштаб анализируемых карт был принят изменяющимся в широких пределах от 1:5000000 до 1:500000 для выделения глобальных полей, от 1:1000000 до 1:200000 для выделения региональных полей и от 1:200000 до 1:50000 для выделения местных полей. Но строгих границ масштабов здесь быть не может, и они подбираются экспериментально.

Проведенный по описанной методике анализ линейных элементов топографических, геологических и магнитных карт разного масштаба по разным материкам позволил выявить отпечаток осесимметричного ротационного поля с полюсом в районе Минска. Этим отпечатком описывается около 80% всех известных линейных элементов. Помимо него были обнаружены еще 7 отпечатков, каждый из которых описывает около 60% элементов, входящих в первый отпечаток. Это позволило сделать вывод о первичности отпечатка минского поля и о том, что все последующие возникли там и тогда, где и когда ротационное поле в своем движении совпадало с минской системой. Были обнаружены также отпечатки

региональных полей, отвечающие складчатым областям, обрамляющим платформы со стороны, обращенной в сторону экватора, причем их форма свидетельствует о сжатии складчатых областей со стороны разделенных ими платформ. Это указывает на смещение платформ в сторону экватора и их сближение в эпоху складчатости. Тем самым открылась пространственная связь этих региональных полей с одновозрастными ротационными глобальными полями, которая позволила установить или уточнить возраст тех и других. Отпечатки ротационных полей, найденные на разных материках, оказались фрагментами единых одновозрастных ротационных полей. Неискаженная форма этих отпечатков свидетельствует об отсутствии крупных горизонтальных смещений материков в духе мобилизма, которые могли бы повести за собой искажение отпечатков ротационных полей.

Рассмотрение пространственного расположения линейных элементов рельефа океанического дна обнаруживает среди них системы, концентричные контурам материков. Это свидетельствует о том, что источниками полей напряжений, вызвавших их образование, были и остаются материки. В самом деле, под действием приливных волн на них возникают и от них распространяются (преимущественно в субширотном направлении) изгибные волны. В средних частях сравнительно небольших океанов (всех кроме Тихого) эти волны, приходящие в одинаковой фазе при сложении увеличивают свою амплитуду. Возникающая в связи с этим деформация, максимальная в средних частях океанов, носит переменный циклический характер и может привести к образованию усталостных трещин, наиболее вероятных также в средних частях океанов. Это позволяет считать среднеокеанические хребты зонами дробления и высокой магматической проницаемости, возникшими при интерференции изгибных волн, идущих от материков.

А.В. Долицкий (ГИН, Москва)

ДВОЙНАЯ СИММЕТРИЯ В РАСПОЛОЖЕНИИ МАТЕРИКОВ И ЛИНЕЙНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАТЕРИКОВОЙ КОРЫ

Анализ пространственного расположения линейных структурных элементов материковой коры (трещин и разломов) обнаружи-

вает, что они образуют осесимметричную систему (ось L , полюс L_T в районе Минска), позволяющую принять ее отпечатком ротационного поля напряжений. Этой системой описываются в частности контуры материков, имеющих по отношению к ней секториальную форму. Однако само положение материков не подчиняется этой системе симметрии — площадь, занятая ими в одном полушарии, значительно больше чем в другом. Для поисков закономерностей в расположении материковых и океанических площадей они были заменены центрами их тяжести. Оказалось, что центры тяжести площадей Тихого океана и Африки находятся на одной оси K , вокруг которой в виде пояса располагаются центры тяжести Азии, Северной Америки, Антарктиды и Австралии. Другой концентричный ему пояс составляют бассейны Северной Атлантики, Южной Атлантики и Индийского океана. Таким образом обнаруживаются две системы осевой симметрии с осями L и K , составляющими между собой угол 45° . Судя по геометрии системы линейных элементов, симметричных оси L , эта система возникла как отпечаток ротационного поля напряжений, а ось L в момент формирования системы являлась осью вращения. Существование такой системы несмотря на многократную ее перестройку, свидетельствует о большом энергетическом воздействии, связанном с ее образованием. Это могло иметь место либо при воздействии на земную кору, хотя и слабого, но длительно действовавшего поля напряжений, либо при кратковременном воздействии интенсивного поля. Неискаженная по границам материков и океанов форма отпечатка этого поля дает серьезный аргумент в пользу существования единой материковой коры в момент его действия. Последующее уничтожение материковой коры в концентрически расположенных зонах, симметричных оси K , позволяет связать этот процесс с действием мощной приливной волны, вызванной близко пролетающим небесным телом, например, Луной. Действительно, при близком от Земли пролете Луны, на линии K , соединяющей их центры, на поверхности Земли и Луны возникают приливные волны, причем максимальные — на сторонах этих тел, обращенных навстречу друг и другу. С этой точки зрения океаны можно рассматривать как области волнового поднятия, дробления и переплавления материковой коры в океаническую, а материки — как области волнового

погружения и сохранения материковой коры. Так Тихий океан оказывается эпицентральной областью приливного вздутия, наибольшего дробления и переплавления материковой коры. Далее концентрически располагается волна погружения, где дробление было ослаблено и сохранилось кольцо материков (Азия, Северная Америка, Южная Америка, Антарктида и Австралия). За волной погружения следует волна поднятия, дробления и переплавления, хотя и более слабая чем в эпицентре. Материковая кора здесь переплавлена и возник пояс океанов: Северная Атлантика, Южная Атлантика и Индийский океан. В антиподальной эпицентру области, хотя и образуется волна поднятия, но ее глушит и перекрывает пришедшая из области Тихого океана (эпицентра) волна погружения. Благодаря этому дробление здесь оказывается ослабленным и материковая кора сохраняется. Приливная волна вызывает резкое торможение вращения и образование волн торможения, раскладывающихся на меридиональные и широтные составляющие. Наибольшей амплитуды они достигают в экваториальном поясе, где торможение (уменьшение линейной скорости) больше. В этом поясе больше вероятность дробления и уничтожения материковой коры, в полярных областях - меньше. Интерференция волн торможения и приливных и определяет конкретные размеры и очертания материков и океанов. В местах сложения волн погружения сохраняется материковая кора, в местах сложения волн поднятия - она оказывается переплавленной в океаническую. Последующее развитие земной коры идет преимущественно в направлении роста материковой коры. Однако этот процесс протекает столь медленно, что не может затуманить основных пространственных закономерностей в распределении материков и океанов, определившихся в момент захвата Луны. Анализ пространственного расположения линейных элементов ее рельефа и пространственного расположения материковых комплексов обнаруживает их двойную осевую симметрию, аналогичную земной.

ПРИРОДА ПОСТРОЕНИЯ И ПЕРЕСТРОЙКИ СТРУКТУРНЫХ ПЛАНОВ

Анализ пространственного расположения линейных структурных элементов, являющихся отпечатками полей напряжений, позволил реконструировать эти поля для фанерозойского этапа и разделить их по масштабу и возрасту. В результате анализа были выделены отпечатки глобальных (осесимметричных), региональных и местных полей. Оказалось, что осесимметричные глобальные поля имеют ротационное происхождение, региональные отражают взаимодействие платформ, смещающихся к экватору под действием полюсобежных сил, а местные обязаны взаимодействию отдельных блоков, находящимися между двумя смещающимися платформами. Соответствие структур известного возраста местным полям позволило приписать и им тот же возраст, а установление связи этих полей с ротационными дало возможность перенести эти выводы о возрасте и на ротационные поля. Знание ориентировки ротационных полей в разные эпохи складчатости позволило найти положение географических полюсов. С другой стороны были реконструированы структурные планы фанерозоя. Оказалось, что платформы образуют треугольные структуры, обращенные своим углом, обрамленным складчатым поясом, в сторону экватора эпохи, отвечающей их образованию. Так в каледонском этапе Африканская и Восточно-Европейская платформы образуют совместно единую треугольную структуру, ориентированную вдоль меридиана и направленную своим выступом в сторону Новой Земли. Этот выступ Восточно-Европейской платформы обрамляют скандинавские и уральские каледониды, а западноевропейские каледониды спаивают Восточно-Европейскую платформу с Африканской в единую треугольную структуру. Ядро другой треугольной структуры каледонского этапа составляет Сибирская платформа. Структура ориентирована также меридионально, и также в сторону экватора, но со стороны другого полушария и поэтому в противоположную сторону. Выступ ее обрамляют уральские, казахстанские и среднеазиатские каледониды. Урал тем самым оказывается областью смыкания этих двух крупных каледонских структур, ориентированных навстречу друг другу. В герцинском этапе

единую треугольную структуру составляют Сибирская и Восточно-Европейская платформы. Ее обращенный к экватору выступ обрамляют западноевропейские герциниды, а герциниды Западно-Сибирской плиты объединяют обе древние платформы и придает этим единство всей структуре. Восточно-Европейская и Сибирская платформы оказываются ядрами треугольных структур и в неотектоническом этапе горообразования, причем обе структуры включают в свой состав также и Западно-Сибирскую плиту. Так Восточно-Европейскую платформу и Западно-Сибирскую плиту обрамляют с юго-запада Альпы, Карпаты и Кавказ, с юга - Иранское нагорье, составляющее фронт структуры, а с юго-востока - Алтае-Саянская область и Забайкалье. Западно-Сибирскую плиту и Сибирскую платформу обрамляют концентрические системы горных хребтов, причем фронт структуры отвечает Гималаям.

Известно, что в эпохи горообразования и складчатости происходит поперечное сжатие подвижного пояса, разделяющего платформы, что свидетельствует о сближении платформ. Это сближение, судя по приведенному выше расположению структурных планов фанерозоя, осуществляется в меридиональном направлении и отражает собой движение платформ к экватору под действием полусобежных сил. Складчатость и горообразование достигают наибольшей интенсивности в моменты дробления коры ротационными напряжениями, поле которых и оказывается поэтому отпечатанным в земной коре. Эту связь можно объяснить снижением вязкости коры за счет ее дробления, что и создает возможность горизонтальных перемещений. Само же дробление происходит в моменты совпадения действующего ротационного поля с симметричной осью Л сеть древних разломов на достаточно большой площади. Сложнее объяснить природу возникновения геосинклинальных прогибов. Считая, что горообразование происходит в условиях поперечного сжатия подвижного пояса, его геосинклинальное погружение можно связать с действием растягивающих сил. Это не значит, что ширина геосинклинального бассейна полностью отвечает величине раздвижения платформ. Такое раздвижение может быть значительно меньше той зоны, где сопутствующее растяжение уменьшило мощность материковой коры и привело в действие магматический процесс ее преобразования в кору океанического

типа, свойственную геосинклинальному прогибу. Знание траектории движения полюса позволяет восстановить обстановку действия полюсобежных сил на платформы в эпохи геосинклинального погружения разделяющих их подвижных поясов. Тем самым открывается путь поиска природы сил, вызывающих раздвижение платформ.

Так, на протяжении времени от завершающей каледонской складчатости в силуре до завершающей герцинской складчатости в перми экватор смещается от восточного края Восточно-Европейской платформы до ее западного края. Это приводит к изменению ориентировки полюсобежных сил на ее территории от азимута направленного на Новую Землю до азимута направленного на Нормандию. Смещение Восточно-Европейской платформы в этом новом направлении приводит к удалению ее от Сибирской и Африканской платформ и растяжению коры в разделяющих их подвижных поясах. Следствием и оказывается возникновение там геосинклинальных прогибов. Лишь в перми дробление Сибирской платформы полем ротационных напряжений делает возможным ее смещение в сторону Восточно-Европейской платформы, сближение с ней, а также сближение этой последней с Африканской платформой. В результате условия растяжения в подвижных поясах сменяются их сжатием, сжатием осадков и горообразованием. Дальнейшее некоторое смещение экватора приводит к дроблению, хотя и слабому, Африканской платформы (серия карру), ее смещению и удалению от Восточно-Европейской платформы. В результате в разделяющем их Средиземноморском подвижном поясе наступают условия растяжения и геосинклинального погружения. Продолжающееся смещение экватора возвращает его в конце средней юры в положение близкое тому, какое он занимал в силуре, в эпоху завершающей каледонской складчатости. В результате в областях прежней каледонской складчатости начинается поднятие, которое, однако, в силу упрочения коры в них, не достигает прежней интенсивности. Дальнейшее смещение экватора вызывает в неогене дробление коры на территории Восточно-Европейской и Сибирской платформ и в примыкающих областях. Это благоприятствует смещению к экватору платформенных масс и образованию ими двух взаимноналоженных структур с ядрами в виде Восточно-Европейской и Сибир-

ской платформ, обрамленных с юга горно-складчатыми поясами, фронтальные зоны которых отвечают соответственно Иранскому нагорью и Гималаям. Таким образом, условием геосинклинального погружения подвижного пояса оказывается расхождение разделенных им платформ в результате большей скорости смещения к экватору платформы, находящейся ближе к нему. Причиной этого является быстрая смена направления полюсобежных сил, действующих на платформу, находящуюся ближе к экватору и нарушение тем самым ее динамического равновесия с платформой, находящейся дальше от экватора. Дробление и смещение последней приводит к складчатости и горообразованию и возвращает систему к динамическому равновесию.

В.Н.Пучков (ИГ Коми филиала
АН СССР, Сыктывкар)

ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЕГО ОТРАЖЕНИЕ В КРУПНЕЙШИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

При анализе динамики развития самых общих черт структурного плана земной коры на первых порах можно ограничиться рассмотрением только горизонтальных векторов поля напряжений и характеристикой горизонтальных сил активной тектонической машины, действующих на земную кору. Вывод о допустимости такого упрощения вытекает из многочисленных фактов, свидетельствующих о том, что аномально высокие напряжения в подвижных зонах Земли, т.е. там, где в настоящее время концентрируется подавляющая часть крупнейших тектонических деформаций, вызываются преимущественно горизонтально направленными силами сжатия или растяжения.

Таким образом, план размещения крупнейших тектонических деформаций должен быть отражением, хотя и весьма приблизительным, картины распределения тектонических сил по поверхности геоида (иначе говоря - отражением плана тектонических напряжений).

Наряду с реальным планом напряжений может быть рассмотрен

идеализированный динамический план. Последний представляет собой план распределения внешних горизонтальных сил тектонической машины, действующих на земную кору, и соответствует воображаемому "динамическому структурному плану" (по Н.П.Хераскову, 1965, это "то расположение структур, которое возникло бы в земной коре, если бы она состояла из однородного материала").

Для учета влияния анизотропии земной коры при анализе динамики развития крупнейших черт ее структурного плана необходимо, по меньшей мере, различать блоки континентального, океанического и переходного строения, т.к. они обладают заведомо различными прочностными свойствами.

Поле напряжений в течение геологического времени изменчиво. Эти изменения происходят медленно и заметны лишь по истечении геологических эпох. Следовательно, современный план тектонических напряжений невозможно экстраполировать в прошлое на большие промежутки времени. Из этого вытекает необходимость построения серии палеотектонических схем, а в качестве первого шага — построение неотектонической схемы земной коры, на основе классификации ее крупнейших структур (мегаструктур) по динамическим признакам.

По интенсивности напряжений, масштабу деформаций и объему энергетических затрат все мегаструктуры земной коры приурочены к зонам двух типов: подвижным и малоподвижным.

Для подвижных зон характерны быстрое накопление напряжений, периодически превышающих предел упругости среды, что приводит к интенсивным землетрясениям, наличие интенсивных неотектонических дислокаций, молодой рельеф, крупные изостатические аномалии, особое "разуплотненное" состояние вещества мантии, широкое развитие вулканизма, и наконец, повышенные значения теплового потока. Все это прямо или косвенно говорит о том, что основная часть тектонической энергии земного шара освобождается в подвижных зонах.

По направленности господствующих горизонтальных сил, действующих в подвижных зонах, различаются подвижные зоны сжатия и растяжения. Кроме того, в местах косого сочленения линейных

зон сжатия и растяжения наблюдаются зоны резко неоднородного поля напряжений, связанные с крупнейшими сдвигами.

Среди подвижных зон сжатия различаются по типу коры:

а) зоны сжатия с корой переходного типа (островные дуги, т.е. современные геосинклинали на стадии возникновения и развития геосинклинальных поднятий и начальных фаз складчатости), и б) зоны сжатия с корой континентального типа (эпигеосинклинальные и эпиплатформенные зоны сжатия, возникшие в результате взламывания более древних участков континентов).

Среди зон растяжения различаются: а) зоны растяжения континентов (рифтогены Восточной Африки, рифтовые моря типа Красного моря и Аденского залива, грабены и авлакогены древних геологических эпох), и б) зоны растяжения океанов (срединно-океанические хребты). Судя по характеру развитых здесь формаций, они отвечают самым ранним этапам заложения и развития геосинклиналей.

В малоподвижных зонах энергия процессов, идущих в их пределах, относительно мала. Линейность, столь присущая подвижным зонам, также слабо проявлена. Общей характерной чертой всех малоподвижных зон (и континентальных, и океанических) является наличие обширных участков с двухъярусным строением (дислоцированный, часто кристаллический - нижний ярус и полого залегающий, осадочный - верхний). Малоподвижные зоны континентов отвечают по традиционной классификации платформ, малоподвижные зоны океанов нередко называют океаническими платформами или талассократонами. Дислокации нижнего структурного яруса в последних - это дислокации растяжения, в противоположность дислокациям фундаментов настоящих платформ. Малоподвижные зоны с корой переходного типа отвечают зонам перехода между современными геосинклиналями и платформами.

Имеется принципиальная возможность построения палеотектонических схем по аналогии с вышеописанной неотектонической. Применение и развитие изложенных принципов может стать основой для изучения истории поля напряжений земной коры.

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ИХ СВЯЗЬ С
НЕКОТОРЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ГОРНЫХ ПОРОД

В основу сообщения положены результаты инструментального изучения естественных напряжений в горных выработках и данные исследований некоторых физико-механических свойств горных пород. Поле современных напряжений в земной коре носит квазистационарный характер и складывается из гравитационных и латентных (скрытых) напряжений, представляющих собой интегральный эффект за счет влияния ряда факторов (Булин, 1969, 1971 и др.) В каждой точке геологического пространства условно можно выделить глобальную, региональную и локальную составляющие поля напряжений. Ниже основное внимание уделено анализу региональной составляющей напряжений.

Основные сведения об абсолютных величинах и ориентировке напряжений внутри массивов горных пород как у нас в СССР, так и за рубежом получены методом разгрузки напряжений, основанном на способности горных пород восстанавливать свою форму после отделения керна от сплошного массива (Кузнецов, Слободов, 1950). К настоящему времени в разных странах выполнено свыше 30000 единичных замеров напряжений в стенках подземных горных выработок (шахты и рудники, основания гидросооружений) на глубинах от 5 до 2700 м ст. земной поверхности. Число исследованных объектов уже превысило 100, из них на территорию СССР приходится более 30. Общая погрешность рядовых измерений напряжений методом разгрузки достигает 50-100%; при массовых измерениях на одном и том же объекте погрешность определения региональных напряжений может быть уменьшена примерно в два раза.

Основные особенности напряженного состояния верхних горизонтов земной коры на глубинах $H < 3$ км представляются в следующем виде.

I. Поле современных напряжений отличается как от гидростатического распределения

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma H \quad (I)$$

где σ_x, σ_y - горизонтальные, а σ_z - вертикальная составляющие напряжений; γ - объемный вес пород), так и от распределения, описываемого согласно гипотезе А.Хайма

$$\sigma_z = \gamma H, \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H \quad (2)$$

Наиболее близкими к гидростатическому распределению напряжений оказываются хемогенные осадки и некоторые разности осадочных пород, обладающих повышенной пластичностью. Отношение средних региональных напряжений σ_{xy}/σ_z в осадочном чехле платформ достаточно близко к величине, определяемой из соотношения (2) при $\mu = 0,25$, и равно $\sigma_{xy}/\sigma_z \approx 0,2-0,5$. В породах кристаллического или складчатого фундамента $\sigma_{xy}/\sigma_z \approx 0,6-0,9$.

2. Преобладающими по величине являются напряжения сжатия, которые в большинстве исследованных регионов в несколько раз превосходят растягивающие напряжения.

3. Наиболее крупные горизонтальные неоднородности поля региональных напряжений связаны с распределением на континентах крупнейших структур - платформ и областей завершенной складчатости. В складчатых областях и на щитах платформ региональные напряжения в среднем больше по величине, чем в осадочном чехле платформ. Участки аномально высокой напряженности горных массивов (горизонтальные компоненты напряжений в несколько раз превосходят нагрузку от веса вышележащих пород) устойчиво коррелируются с областями высокопрочных, главным образом, изверженных пород кислого и щелочного состава. На территории СССР такие участки установлены в пределах Хибинского щелочного массива (Турчанинов, Марков, 1967), Горной Шории (Батугин, Шаманская, 1965), а также в районе строящихся Токтогульской и Саяно-Шушенской ГЭС (Кутепов, 1969). Названные участки, характеризующиеся наиболее резкой анизотропией напряжений, коррелируются с зонами повышенной сейсмической активности, а в пределах Хибинского массива - также с зонами повышенных значений плотности теплового потока и геотермического градиента (Череметский, 1970).

По предварительным данным, имеется линейная связь между прочностью пород на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$) и величиной σ_{xy}

$$\sigma_{сж} = 200 + 6\sigma_{х,у} \quad (3)$$

в диапазоне $\sigma_{сж} = 500-2300$ кг/см² и $\sigma_{х,у} = 50-350$ кг/см². Более чем в 70% рассмотренных случаев $\sigma_{х,у}/\sigma_{сж} = 0,1-0,12$ и примерно равно отношению σ раст/ $\sigma_{сж}$. Для наиболее прочных изверженных пород ($\sigma_{сж} = 1500-2300$ кг/см²) из зон аномально высокой напряженности массивов величина $\sigma_{х,у}/\sigma_{сж} = 0,3-0,35$. По неполным данным, достаточно тесная связь имеется между $\sigma_{сж}$ и величиной акустической жесткости (ρV_p , где ρ — плотность пород, V_p — скорость продольных сейсмических волн).

$$\sigma_{сж} = -1350 + 1800 \rho V_p \quad (4)$$

в диапазоне

$$\sigma_{сж} = 500-1800 \text{ кг/см}^2 \text{ и } \rho V_p = (1,0-1,7) \cdot 10^3 \text{ кгсм/сек}^2.$$

Учитывая соотношения 3 и 4 и допуская, что $\sigma_{х,у}$ не зависит от H , а определяется только величиной ρV_p , можно оценить вероятные величины региональных напряжений в породах основного и ультраосновного состава: при $\sigma_{х,у}/\sigma_{сж} = 0,325$, $\rho = 3,0-3,3$ г/см³ и $V_p = 7,0-8,0$ км/сек получим

$\sigma_{х,у} \approx 700 - 1100$ кг/см². Эта оценка, вероятно, соответствует верхнему пределу горизонтальных региональных напряжений в массивах горных пород на глубинах до 5-7 км.

Г.Н.Лукашев (ЛАНМ, Ленинград)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ (ОСНОВНОЙ ДЕЛИМОСТИ ЗЕМНЫХ ОБЛОЧЕК)

Формирование геологических структур обусловлено расположением планетарной сетки разломов (основной делимости земной коры, Белусов, 1962). Земная кора в ранней стадии своего развития была разбита сеткой глубинных разломов (линеаментов, Р.Зондер, 1956), плоскости которых определяют границы пирамидальных блоков. Границы эти изменяют свое положение в пространстве и времени, что определяется изменением внутренних энергетических потенциалов каждого блока. Нарушения равновесия

внутренних сил потенциально являются причиной отклонения объемного контура от симметричной пирамидальной формы отдельного структурного элемента земной коры или той или иной земной оболочки.

При анализе геологических и геофизических карт выделяют объемные пирамидальные фигуры, которые имеют в плане ромбоидальные сечения различных масштабов и порядков. Допуская равноправие каждой точки пирамидальной фигуры в процессе междоатомных взаимодействий электромагнитной природы (Н.Е. Мартынов, 1968) можно считать угол наклона плоскости глубинного разлома, представляющего основную делимость земных оболочек, примерно равным 45° .

На территории СССР и близлежащих районов по геологическим, геофизическим и геоморфологическим данным выявлено девять таких ромбоидальных оснований пирамид. Для каждого ромбоидального основания, стороны которого ориентированы по азимутам близким СВ 45° и СЗ 315° , наблюдается ориентировка диагоналей в субширотном и субмеридиональном направлении. Последнее позволяет представить основной составляющий структурный элемент земной оболочки тетраэдром, как часть правильной четырехгранной дипирамиды, что хорошо увязывается с высказанной в прошлом веке идеей о тетраэдрической форме земного шара Л.Грином (1875 г.), и с теорией Ф.А.Мейнесуа (Е.Ш.Хиллс, 1967) о совпадении положения границ континентов с биссектрисами сети планетарной трещиноватости.

Для устанавливаемых по геологическим данным на земной поверхности ромбических оснований структурных элементов на данном участке характерны геосинклинальные тенденции, т.е. преобладание нисходящих движений над восходящими. Наоборот в точках соприкосновения различных пирамид или в вершинах ромбического сечения имеют место антиклинальные тенденции, латеральное распространение которых расширяется по мере углубления эрозионного среза земной коры.

Подтверждение существования рассматриваемой выше структуры мы видим так же в установлении В.П.Мирошвиченко (1968, 1972) ромбообразной планетарной отдельности, определяющей

форму рельефа на примере Туркмении, а также в представлениях о симметрии планетарных форм и сил, развиваемых И.И.Шафрановским и Л.М.Плотниковым (1969) и В.И.Васильевым (1971).

Другим косвенным доказательством является совпадение расчетных глубин по вышеприведенным углам известных пирамидальных структур с уровнями землетрясений: 120-160, 220-300, 370-430, 700, а также теоретически рассчитанными В.И.Васильевым (1971) структурными уровнями внутри Земли.

Сосуществование тетраэдров, образующих дипирамиду (или пирамиду) позволяет одни неизвестные направления установить по другим известным, и подойти таким образом к моделированию взаимосвязанных между собой как плоскостей основной делимости земной коры, так и возникающей по той же геометрической схеме тектонической трещиноватости.

Е.И.Паталаха, М.К.Аполлонов
(ИГН АН Кав.ССР, Алма-Ата)

ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНОГО И ПЛАТФОРМЕННОГО РЕЖИМОВ РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Различие платформенного и геосинклинального режимов развития земной коры кроется, как известно, в различиях интенсивности четырех типов явлений: контрастности вертикальных движений, складчатости, магматизма, метаморфизма.

Чтобы оценить роль каждого из факторов в определении степени геосинклинальности того или иного региона следует сравнить их энергоемкость. Сказывается, энергоемкость вертикальных движений на один порядок ниже энергоемкости складкообразовательных движений (пластических деформаций), а последних на несколько порядков ниже, чем глубокого метаморфизма и плавления (И.Гогель, 1948; У.Файф, Ф.Тернер и Дж.Ферхуген, 1962; В.В.Белюсов, 1966; Е.И.Паталаха, 1967).

Более или менее ясно, что характер геосинклинального

процесса определяется глубинными физико-химическими процессами, отражающими энергетическую и фазовую неравновесность вещества верхней мантии и глубоких горизонтов коры. Механические процессы образования первичных и вторичных структур в приповерхностных слоях коры должны рассматриваться лишь как продукт физико-химических, фазовых, энергетических, плотностных (и в частности, тепловых) и тому подобных глубинных процессов, прямым проявлением которых являются магматизм и метаморфизм. Поэтому на современном уровне познания глубинных процессов при классификации структур по "степени геосинклинальности" нет оснований, опираясь на упрощенную сравнительную оценку энергоемкости магматизма, метаморфизма, пластических деформаций и перемещения вещества в поле тяготения Земли, отдавать предпочтение одним факторам (например, магматизму или магматизму в сочетании с метаморфизмом) и сбрасывать со счетов другие (складчатость и движения блоков), поскольку все эти явления представляют собой лишь разные стороны одних и тех же процессов - магматизма, метаморфизма, складчатости и седиментогенеза - на различных глубинных уровнях.

Е.И.Паталаха (ИГН АН Каз.ССР, Алма-Ата)

О ПРИРОДЕ И ХАРАКТЕРЕ СИЛ, СТИМУЛИРУЮЩИХ
СКЛАДКООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА
ПЛАТФОРМАХ И В ГЕОСИНКЛИНАЛЯХ

В работах В.В.Белоусова (1949-1971), Е.В.Артишкова (1962-1971), Р.Беммелена (1957), Г.Рамберга (1970) и др. показано, что важнейший энергетический источник тектонических деформаций коры представляет сила тяжести, по своей величине превосходящая ротационные и космогенные силы вообще, насколько они поддаются учету. Поэтому можно думать, что сила тяжести играет главенствующую роль в тектонических процессах, хотя при реализации ее как структурообразующего фактора значение спускового механизма могут иметь силы иной природы и, в частности,

ротационно-космогенные. Сила тяжести имеет объемный (массовый) характер. Возникает вопрос о том, каковы конкретные формы реализации ее помимо уже упомянутых достаточно общих. Вслед за В.В. Белоусовым (1961, 1971), В.Е. Хаиним (1964) мы полагаем, что к вопросу о реализации гравитационных сил следует подходить с позиций концепции о разломно-глыбовой структуре земной коры не только в целом, но и в деталях. Плавные волновые движения в мантии и в глубоких горизонтах коры в региональных и глобальных масштабах на верхних и более "хрупких горизонтах" ее реализуются в качестве контрастных дискретных движений отдельных блоков, вязкость и пластичность которых варьирует в широком диапазоне от струй-блоков (текущих вязко) до глыб-блоков (жестких блоков) через все промежуточные переходные разности. Примерами первых являются диапиры - соляные и гранитные, вторых - блоки платформенных оснований, а третьих - деформирующиеся блоки геосинклинально-складчатых областей. На уровне блоков, размеры которых измеряются километрами, метрами и их долями также повсеместно наблюдаются неравномерные деформации с максимумом по краям блоков-ячей и минимумом в центре их. На этом уровне кора и ее элементы представляют собой дискретное тело, деформация которого в принципе отлична от деформации сплошной среды. Таким образом, разломы в коре после их образования играют роль поверхностей приложения усилий. При этом в хрупкой области касательные напряжения снимаются и остаются только напряжения нормальные к плоскости разломов. По мере снижения вязкости роль касательных напряжений наряду с нормальными возрастает. С этих позиций общая схема деформации дискретной разломно-глыбовой земной коры состоит в следующей. Объемные силы, благодаря обычному наличию разломов, превращаются в поверхностные, которые деформируют кору в узких приразломных зонах. Этот эффект особенно резко выражен в условиях достаточной жесткости блоков. По мере снижения вязкости и увеличения пластичности блоки утрачивают свое значение автономных кинематических единиц. Поэтому на верхних горизонтах коры господствует блоковая, т.е. шовно-приразломная тектоника. Глубже шовно-приразломные зоны разрастаются, становясь все шире и, наконец, сливаются. Это - область

типичной геосинклинальной складчатости общего смятия. Еще глубже вся масса вещества течет, как одно сплошное месиво. Соответственно этому плавные и, следовательно, слабоконтрастные движения, зарождающиеся в мантии, передаваясь на более высокие горизонты тектосферы с помощью указанного своеобразного трансмиссионного механизма (от блока к блоку) становятся все более дискретными, мелкомасштабными и контрастными.

Хорошие примеры развиваемых представлений доставляют данные по детальному изучению складчатости Казахстана, Алтая, Урала и многих других районов СССР и зарубежных стран.

Изложенные представления объясняют:

1. Возникновение в приповерхностных слоях коры чрезвычайно мелких (мелких) структурных элементов (антиклинорий, синклинорий, грабенов и т.д.) при плавных крупноволновых, как исходных, движениях мантии.

2. Природу "бокового давления", ответственного в конечном итоге, по крайней мере, за интенсивные складкообразовательные процессы (независимо от характера перемещения блоков по вертикали, по горизонтали и т.д., сжатие их с боков всегда ориентировано преимущественно по нормали к грабичным разломам).

3. Причину передачи давления на огромные расстояния (следствие телескопированного вложения блоков разного масштаба, т.е. частого расположения разнопорядковых разломов; блоки взаимодействуют между собой по разломам, преобразуя объемные силы в поверхностные).

4. Широкое развитие комбинированных складко-разрывов, в которых оба компонента выступают часто в роли равноправных, парагенетически взаимосвязанных.

5. Причину того, что при изучении отдельных тектонических блоков практически никогда не удается реставрировать схему активных деформирующих усилий (результат конвергенции: одни и те же поля напряжений можно получить целой серией различных комбинаций усилий).

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНО-
СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Этапы ("циклы") развития полициклических геосинклинально-складчатых областей обычно удаётся разделить на стадии. Начальная стадия этапа соответствует эпохе общего погружения (эпохе трансгрессии) — периоду накопления карбонатных и кремнисто-вулканогенных формаций. Вторая (инверсионная) стадия совпадает во времени с переходом от опусканий к поднятиям. Для нее характерно накопление терригенных отложений, вначале мелкообломочных, затем грубообломочных (молассовая формация) и внедрение интрузий преимущественно гранитоидного состава. Наконец, третья стадия соответствует периоду общего воздымания зоны (или нескольких зон) и отражается в формационном ряду, главным образом, вулканогенными формациями.

Столь же закономерно происходит развитие складчатого процесса. В каждом из выделенных этапов развития наиболее ранними складками (S^I) являются конседиментационные складки, формирующиеся в течение I-й (доинверсионной) стадии цикла, на фоне общего погружения в результате вертикальных колебательных движений. В морфологическом отношении они близки к прерывистым (идиоморфным) складкам, отличаясь от них достаточно ясно выраженной линейной ориентировкой, согласной с ориентировкой формационной зоны.

Во вторую (инверсионную) стадию цикла (этапа) возникают качественно иные складки, обязанные своим происхождением горизонтальному боковому скатанию. Образованию их предшествует общее воздымание формационной зоны и прилегающих к ней участков, что отражается накоплением терригенных отложений, сменяющих вверх по разрезу карбонатные или кремнистые отложения доинверсионной стадии.

В условиях бокового скатания, ориентированного, в общем случае, под углом и простирацию формационной зоны и обусловленного внешними горизонтально приложенными силами, вначале образуется слабо удлиненные, близкие к брахиформным косо

расположенные складки (S^2); по мере усиления горизонтального сдавливания складки становятся линейными; формируется кливаж течения, параллельный их осевым поверхностям. Общей особенностью складок S^2 и подобных им структур является развитие в них на определенной стадии формирования диагональных сколовых трещин, вдоль которых в условиях продолжающегося тангенциального сжатия происходит правобоковое или левобоковое горизонтальное смещение частей складок S^2 . Это приводит к изгибанию поверхностей кливажа течения (и, соответственно, к изгибанию осевых поверхностей складок S^2) и возникновению новой системы "горизонтальных" (В.С.Буртман, 1968) складок (S^3) с осевыми поверхностями, параллельными сколовым трещинам. Складкообразовательные движения второй (инверсионной) стадии завершаются изгибанием поверхностей S^3 в результате чего возникает гигантские дуги, которые тоже могут рассматриваться как горизонтальные складки — S^4 .

Важнейшая особенность системы складок S^3 - S^4 — наличие в ней согласных с простиранием складчатой зоны разрывных нарушений типа взбросов, сдвигов и взбросо-сдвигов — своеобразных гигантских "кливажных-трещин". Уже в конце инверсионной стадии эти "трещины" (по существу, крупные расколы глубокого заложения) выступают в ряде случаев в роли пограничных структур, обрамляющих вновь сформированные зоны поднятий. Эти же расколы играют определенное значение в размещении ичтрузий, внедрившихся в конце инверсионной стадии. При переходе к третьей (постинверсионной) стадии указанные расколы, преобразованные частично в сбросы и сбросо-сдвиги и сопровождающиеся вертикальным перемещением блоков, становятся границами новых (ориентированных иначе, чем прежние) формационных и фациальных зон, развитие которых продолжается до конца 3-ей стадии и в течение всей 1-й стадии следующего цикла.

Таким образом, в течение длительной геологической истории полициклических геосинклинально-складчатых областей неоднократно менялся расположение и ориентировка формационных и складчатых зон. Складчатые зоны ориентированы, как правило, под углом к простиранию предшествующих им формационных зон того же этапа развития и согласны с простиранием "поздних"

формационных зон, зарождающихся в конце 2-ой стадии цикла. Контуры формационных и складчатых зон обычно не совпадают, что заставляет с осторожностью использовать термин "структурно-формационная зона".

С.А.Ушаков, И.А.Шабалин (МГУ, Москва)

ДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ РИФТОВЫХ И ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ

С позиций геодинамики процесс развития Земли рассматривается как крупномасштабное течение вязкого вещества ядра и мантии. Это течение приводит к расколу верхней, толщиной около 70 км, хрупкой оболочки - литосферы - на плиты и перемещению всего ансамбля плит (что и послужило причиной для названия этой концепции - "тектоникой литосферных плит" или "глобальной тектоники").

С позиций глобальной тектоники, основная тектоническая активность, обусловленная тесной связью - пространственной, временной и причинной - поверхностных геологических процессов с глубинами, приурочена к пограничным зонам между плитами. При этом все динамические процессы в пограничных зонах разделяются на три основных типа:

I тип. Раскол единой плиты и отодвигание двух образовавшихся плит друг от друга, поступление в трещину мантийного вещества и образование в ней океанической коры - процесс рифтогенеза, который правильнее называть процессом образования океанической коры, а осевые рифтовые впадины - зонами ее зарождения.

Рассмотрены динамические и термодинамические условия на разных стадиях эволюции океанической литосферной плиты в процессе рифтогенеза. Показано, что каждая стадия характеризуется присутствием ей термическим режимом, обусловленным взаимодействием глубинных и поверхностных процессов.

II тип. Сдавливание литосферной плиты в некоторой области

и образование скола, по которому происходит надвигание края одной из образовавшихся плит и погружение в астеносферу края другой, частичная или полная переработка опускающейся плиты в верхней мантии — геосинклиальный процесс.

Рассмотрение процесса погружения с позиций механики показывает, что до глубин около 100 км плита может опуститься под действием мантийных потоков, а для дальнейшего погружения ей необходима соответствующая избыточная по сравнению с окружающей мантией плотность. Теоретические оценки показывают, что в погружающейся плите из-за воздействия высоких давлений и температур на глубинах скола 100 и около 300 км возможны фазовые переходы вещества.

Проведен анализ воздействия возможных причин, влияющих на термический режим погружающейся плиты: а) адиабатическое сжатие, б) фазовые переходы вещества, в) разогрев за счет напряжений сдвига, г) температурное влияние вещества мантии, окружающего опускающуюся плиту.

Ш тип. Горизонтальное смещение краев двух литосферных плит, без существенного их раздвигания или надвигания — трансформный разлом. Рассмотрены механические и термодинамические следствия субгоризонтальных перемещений одного края литосферной плиты относительно другой.

Дана постановка проблемы связи процессов рудообразования и нефтегазообразования с динамическими и термодинамическими условиями в краевых зонах литосферных плит.

В.М.Терентьев (ВСЕГЕИ, Ленинград)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РИФТОГЕННЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ)

Рифтогенные системы континентов являются крупнейшими геоструктурами, сочетающими в своем строении и развитии элементы с различными геодинамическими характеристиками. На примере этих структур отчетливо устанавливаются особенности проявления разнородных энергетических полей, а также различные типы

связей напряженного состояния крупных участков литосферы с динамикой их развития и конкретными деформациями. Они представляют неогесинклиальный (террагенальный, по М.И.Ициксоу и Л.И.Красному, 1970) ряд геологических структур. К числу наиболее изученных континентальных рифтогенных систем относятся Байкальская и Восточно-Африканская.

В состав рифтогенных систем нами выделяются протяженные цепи грабенов (рифтов) и объединенные с последними общностью структурного положения блоковые поднятия их бортовых и фланговых частей. Изучение этих систем указывает на их тесную приуроченность к глубинным разломам или поясам глубинных разломов древнего заложения. Отдельные их элементы связаны с разломами сбросо-сдвигового типа, глубоко проникающими в фундамент.

Устанавливается общая аналогия исходных энергетических моментов развития рифтогенных систем и зон глубинных разломов. Общим геодинамическим фоном развития указанных геоструктур является растяжение. Кроме структурно-морфологических особенностей данный характер силового поля объясняет и сложную картину распределения напряжений в очагах активных сейсмических движений. Сеймотектонические исследования (В.П.Солоненко, 1968 и др.) в Байкальской зоне свидетельствуют о генеральном направлении растягивающих напряжений вкост рифтогенной системы и резко подчиненной роли продольно-вертикального сжатия. Этим создаются условия потенциально расслабленного состояния земной коры и неустойчивого положения отдельных блоков в пределах большей части Байкальской системы. Относительные вертикальные перемещения крупных блоков составляют не менее 8-9 км. Сочленения блоков, отличающиеся развитием поперечных сбросо-сдвиговых движений, представляют также участки проявления прерывистого во времени базальтового вулканизма.

Значительным своеобразием характеризуются наиболее ярко выраженные энергетические поля Байкальской рифтогенной системы. Имеющиеся интерпретации гравитационного поля (А.П.Бумагов, 1960; А.А.Борисов, 1965; В.А.Зорин, 1966 и др.) не являются достаточными для однозначных выводов. Наиболее интересны представления А.А.Борисова о развитии под рифтогенной зоной грабенообразной структуры, рассекающей все горизонты коры

вплоть до верхней мантии и выполненной корово-мантийной смесью. Мощность коры по различным данным составляет 35-45 км до 60 км.

Магнитное поле резко дифференцировано, характеризуется отрицательными аномалиями в зоне рифтовых впадин и узкими положительными максимумами вдоль их ограничений.

Для рифтогенной системы характерен аномальный тепловой поток ($2,8 \cdot 10^{-6}$ кал/см сек на фоне I-I, $5 \cdot 10^{-6}$ кал/см сек) и средние геотермические градиенты, как правило, больше $2-3^{\circ}\text{C}/100$ м. (Е.А.Любимова, 1968 и др.)

В соответствии с установленным тепловым режимом находятся и геоэлектрические поля, отражающие наличие ступенчато расположенных вдоль глубинных расколов зон повышенной электропроводности (разогрева).

Совокупность отмеченных выше энергетических полей Байкальской рифтогенной системы указывает на сложный характер ее формирования. Объяснение причин этих полей следует искать во внутренних геодинамических напряжениях рифтогенной системы, связанных с процессом ее направленного развития.

Ротационные силы, по-видимому, имеют значение лишь для определения места рифтогенных структур в общепланетарной системе трещиноватости. Главным энергетическим источником, обусловившим образование и динамику развития рифтовых впадин и сопряженных с ними блоковых поднятий является, скорее всего, восходящий конвекционный поток в верхней мантии, связанный с ее аномально высоким разогревом. Анализ распределения по вертикали очагов землетрясений (В.П.Солоненко, 1968) показывает, что движение подкорового вещества и особенности строения коры обуславливают их постоянный глубинный уровень (порядка 20 км), в пределах которого, очевидно, происходит переход нагрузок через "предел прочности" и реализация их в образовании новых и интенсивной активизации древних разломов. Следует особо подчеркнуть значительную роль унаследованного характера развития рифтогенных структур. Байкальская зона тесно связана со Становым линейamentом (поясом пограничных глубинных разломов), наследует его отдельные элементы и характе-

разуется многоэтапным развитием с четко зафиксированными мезозойской, неогеновой и современной стадиями.

Изучение полей внутренних геодинамических напряжений рифтогенных систем имеет большое прикладное значение. Рифтообразование может рассматриваться как выражение динамики формирования областей тектоно-магматической активизации. Это существенно для металлогенического районирования. Кроме того, как показали океанологические исследования последних лет (Т.Б.Удинцев и др.), в рифтовых зонах фиксируется существенный принос ювенильных рудных элементов, представляющий несомненный интерес при решении проблемы источника рудного вещества и формирования рудных концентраций.

Ф.Я.Корытов (ВИЭМС, Москва)

О ДИНАМИКЕ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ

Анализ большого количества фактического материала свидетельствует о том, что в конце мезозоя и начале кайнозоя произошло резкое усиление тектонической активности Земли и связанное с этим существенное преобразование земной коры, достигшее своего максимума в меловое и нижнетретичное время — эпоху планетарной тектонической активизации (Ф.Я.Корытов, 1971). Эта тектоническая активизация помимо ряда особенностей, присущих для таких процессов и детально рассмотренных в работах многих исследователей (Г.Ф.Мирчик, 1940; И.В.Корешков, 1960; В.В.Белоусов, 1962, 1964; А.Д.Щеглов, 1960, 1964, 1970; М.С.Нагибина, 1968, 1967 и др.), характеризуется прежде всего синхронностью ее интенсивного развития в общепланетарном масштабе.

Как известно (A. Wegener, 1915, 1925; A. Du. Toit, 1937; П.Н.Кропоткин, 1971 и др.) именно в конце мезозоя и начале кайнозоя происходил распад древних континентов с образованием океанических впадин. О наиболее интенсивной фазе распада и дрейфа континентов в межу и начале третичного периода свидетельствуют не только геологические, но и многочисленные

данные по палеомагнетизму и глубокому бурению (К.М. Среер , 1970; W.C. Pitman , 1971 и др.).

В это время сформировалась грандиозная система срединно-океанических хребтов, прослеженная через все океаны (В.С. Неезел , 1960; Н.Н. Несс , 1962 и др.) и протяженные рифтовые зоны на континентах (R.W. Girdler , 1969; J.G. Bass , 1969; Р. Френд , 1970 и др.).

Планетарная тектоническая активизация сопровождалась интенсивным магматизмом, который в конце мезозоя и начале кайнозоя по объему только одних гранитоидных интрузий на единицу времени был значительно выше, чем в любую иную эпоху, в том числе и в докембрийское время (А. Нопф, 1957 и др.).

В эту же эпоху произошли крупнейшие излияния основной магмы на континентах (А. Польшверт, 1950; Н. Grabert , 1959; У.Г. Хуан, 1965 и др.) и в океанических впадинах (Г.У. Менард, 1966 и др.).

Период интенсивного проявления планетарной тектонической активизации был кульминационным в образовании многих видов эндогенных и экзогенных полезных ископаемых. В эту эпоху сформировалось основное количество (до 90% и более) месторождений олова (М.И. Идиксон, 1958; Н.Н. Томсон, 1969 и др.), вольфрама, молибдена, ртути, сурьмы, алмазов (Н.А. Быховер, 1963; Д.В. Рундквист и др., 1971; В.А. Евотрахин, 1971 и др.), барита, флюорита (Ф.Я. Корытов, 1969, 1971 и др.) и других полезных ископаемых.

В развитии планетарной тектонической активизации можно, хотя и в значительной степени условно, выделить два периода. Первый период, охвативший в основном начало мела и, возможно, эрски́й период, отличается преобладанием складчатых деформаций над разрывными. Для него характерно проявление преобладающим образом гранитоидного магматизма и связанного с ним формирования эндогенных месторождений олова, вольфрама, молибдена и ряда других металлов. Процесс этого периода тектонической активизации получил развитие преимущественно в верхних горизонтах земной коры.

Второй период тектонической активизации, происходивший

в основном в позднем мезо и третичном периоде, отличается от первого широким развитием глубинных разломов, с которыми связаны сначала крупные вертикальные перемещения блоков земной коры, а затем - горизонтальные, в том числе и дрейф континентов. В этот период преобладал базальтовый магматизм и формировались генетически связанные с ним месторождения свинца, цинка, сурьмы, ртути, флюорита, барита и многих других полезных ископаемых. Этот период тектонической активизации в значительной степени охватил в основном нижние горизонты земной коры.

Интересной особенностью планетарной тектонической активизации является широкое развитие (особенно в ее поздний период) субмеридиональных и субширотных глубинных разломов. Поэтому не случайным является то, что многие срединно-океанические хребты и рифтовые зоны на континентах имеют субмеридиональное простирание.

О ведущем значении в период тектонической активизации глубинных разломов ортогонального направления свидетельствуют данные о субмеридиональной ориентировке многих металлогенических провинций, поясов и зон, например, эндогенных месторождений олова, вольфрама, молибдена грейзенового типа (Д.В. Рундквист и др., 1971), месторождений флюорита (Ф.Н. Корытов, 1969, 1971) и других полезных ископаемых.

Установление ряда особенностей планетарной тектонической активизации и их дальнейшее изучение позволит по-новому решать не только многие теоретические вопросы наук о Земле, но и более целенаправленно проводить прогнозирование и поиски различных полезных ископаемых. С этой позиции, например, большие перспективы на обнаружение месторождений ряда полезных ископаемых (свинца, цинка, золота, сурьмы, ртути, урана, флюорита, барита, алмазов и др.) приобретают не только многие районы континентов, где пока эти месторождения не выявлены, но и дно океанических впадин.

ВНЕШНЕЕ ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ПОДОБИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
СТРУКТУР

Геологическую структуру можно представить либо как совокупность наиболее устойчивых связей геологических образований, либо как моментальный (в масштабе геологического времени) снимок динамических связей.

В соответствии с известным принципом П.Кюри структура тела является результатом наложения симметрии среды на собственную симметрию тела. Если представить объект воздействия изотропным или бесструктурным, то под воздействием внешнего поля он приобретет симметрию, которая целиком будет соответствовать симметрии (особенностям строения) этого поля. В частности такими особенностями являются ритмичность строения и подобие малых и больших форм. Примерами могут служить гармонически изменяющиеся по величине подобные формы барханных гряд пустынь, волноприбойные знаки на пляжах, морские волны, возникающие на ровной однородной поверхности (Петров, 1971). В геологии структуры такого типа представлены ритмично-слоистыми толщами, ритмично-зональными метаморфическими и метасоматическими образованиями и региональными структурами, отражающими ритмичность геотектонического развития, в которых выделяются структуры, соответствующие микро-, макро-, и метаритмам.

Установлено, что распределение разновеликих подобных явлений природы подчиняется логарифмически нормальному закону (Карасев Б.В., 1971). Причины колебаний внешнего поля, под влиянием которого формируются подобные структуры, объясняются необходимыми условиями существования материи в режиме бесконечных колебаний, происходящих на любом уровне ее организации (см. также тезисы А.И.Бурда в настоящем сборнике). Симметрия возникающих структур, независимо от их величины в гармоническом ряду, отражает особенности генерирующего их поля.

Геологические структуры характеризуются большой сложностью. Они несут отпечаток полей напряжений, действующих на

протяжении всей истории геологического развития рассматриваемого объекта. В процессе геологического развития ритмично-подобные черты строения при постепенном и непрерывном усложнении структуры с ростом ее неоднородности будут унаследоваться, но все более и более видоизменяться и затухиваться. Ритмичность флиша, например, определяет ритмичное изменение длины складок и расстояние между речинами, которое меняется по параболической зависимости относительно изменения мощности. (Рац М.В., 1962).

Казалось бы, в соответствии с принципом П.Кюри возникновение принципиально новых подобных ритмичных структур в сложном геологическом теле невозможно. Однако, прогрессирующее нарастание неоднородности приводит к противоположному результату — статистически однородному состоянию: при резком возрастании интенсивности внешнего поля такое геологическое тело ведет себя как однородное, и в нем возникает новая структура.

В неоднородном теле, не достигшем состояния статистически однородного, появление новой группы подобных структур, привносимых внешним полем, также возможно, но при выполнении условий подобия (М.В.Гвозовский, 1960). Достаточная сложность геологической структуры способствует реализации этих условий в некоторых ритмично повторяющихся точках. Примером служит подобие структур обнажений и частных разрезов целым горным сооружениям Европы (Шван, 1963). Другой пример представляет подобие микроструктур угля структурам обнажений в Ясно-Якутском угленосном бассейне (Мокринский и др., 1961).

Таким образом следует различать унаследованные и наложенные, вновь приобретенные, подобные формы и ритмичные структуры. Выделяются наложенные структуры, возникающие в однородном, статистически однородном и неоднородном теле.

Представления о ритмично-подобном устройстве геологических структур в разной степени интуитивно используются в геологической практике. Разработка теории структур в этом направлении позволит целенаправленно ставить и решать прямые и обратные задачи о связи структур и полей напряжений. При этом открывается возможность применения математических методов: гармонического анализа и топологии.

УРОВНИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ
ЭНДОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

За понятием о генетических типах земной коры стоят весьма важные понятия об уровнях локализации энергетических процессов, происходящих в различных слоях мантии и, возможно, ядра Земли и ответственных за образование и развитие определенных типов земной коры.

Можно предложить следующую схему уровней локализации энергетических процессов, вызывающих геологические явления.

I. Наиболее глубокий уровень локализации энергетических процессов находится в ядре Земли и в нижних слоях мантии.

В последнее время Артюшков (1970) обосновал гипотезу происхождения многих продуктов дифференциации, формирующих континентальную земную кору, за счет материи самых глубоких частей мантии и верхних оболочек ядра.

II. Глубокий уровень локализации энергетических процессов связан с мантией (глубина от 750-950 до 300 км). В тектонических зонах, приуроченных к глубокому уровню, совершается дифференциация вещества планеты, и по ним поднимаются вверх, в земную кору потоки веществ, на что впервые указал Барт (1952). Именно на этом уровне локализуются энергетические процессы, ответственные за образование геосинклинальных зон, т.е. формирующие важнейшую часть вещества континентальной земной коры (Зоны А, Ажгирей, 1966, 1971).

III. Средние уровни локализации энергетических процессов связаны с явлениями, происходящими в астеносфере и верхней части верхней мантии, расположенной между астеносферой и поверхностью Мохо. Слой пониженных скоростей сейсмических волн расположен на глубинах между 60 и 350 км. Характеристику слоя дал В. А. Магницкий (1968). Текучесть материала этого слоя и температура, близкая к точке плавления, позволяют предполагать значительную неустойчивость состояния вещества в слое пониженных скоростей и искать в нем источник некоторых важных текто-

вических процессов (Белоусов, 1966, 1968).

Важная особенность слоя низких скоростей, заключается в том, что именно в этом слое находятся первичные очаги толейтовых базальтовых магм (Ringwood, 1962; Иодер, Тилли, 1965; Gorshkov G.S., 1966, 1969).

С энергетическими процессами глубокого уровня локализации, по-видимому, отчасти связано возникновение корней гор, возвышенностей на платформах (щитов), а также некоторых типов подводных океанических хребтов и валов.

Кроме того, имеются основания предполагать существование самостоятельных движений концентрических оболочек, расположенных выше астеносферы. Может быть, именно в этом явлении заключена разгадка нелогичных, с позиций планетарной механики, смещений полюсов вращения, а также магнитных полюсов Земли на протяжении геологической истории.

К среднему уровню локализации относятся также процессы, приводящие к формированию рифтовых подвижных зон. Сейсмическими исследованиями установлено неглубокое положение фокусов землетрясений в рифтовых поясах, где максимальная глубина их не превышает 70 км.

И, наконец, с рассматриваемым уровнем, по-видимому, связано превращение блоков мощной континентальной земной коры в сравнительно тонкую кору океанических впадин. Этот процесс считается невероятным большим числом геофизиков (Магницкий, 1965; Люстих, 1968), но можно сослаться на многочисленные опубликованные в последнее время факты, указывающие на существенные отличия свойств вещества мантии под континентами и под океаническими впадинами. Не исключено, что эти различия и есть проявления процессов усвоения вещества континентальной коры веществом мантии.

IV. Неглубокие (преимущественно внутрикоровые) уровни локализации энергетических процессов. Мы предлагаем тектонические деформации, связанные с неглубокими энергетическими процессами, именовать **э п к д е р м а л ь н о й т е к т о - н и к о й**.

В последние годы выявлено два комплекса фактов, которые могут быть отнесены к явлениям эпидермальной тектоники.

Во-первых, это разломы, огромные по протяженности, но не имеющие глубоких корей. Таковы знаменитый сдвиг Сан-Андреас, который несмотря на протяженность в 1200 км, характеризуется полным отсутствием землетрясений с глубиной более 20 км (Болл и др., 1968, с.1725-67), огромный региональный сдвиг Юго-Восточной Аляски, почти совпадающий с побережьем Тихого Океана (Пейдж, 1969, с.1928), гигантский сдвиг Северной Анатолии (Аноним, 1968), в котором все гипоцентры землетрясений находятся на глубинах от 8 до 27 км, не более.

Вторая группа фактов выявлена шведским исследователем Н.Хастом и сейчас стала предметом многочисленных наблюдений во многих странах. Н.Хаст впервые обратил внимание на большие, явно преобладающие гидростатические, напряжения сжатия в горных выработках, достигающие 200 кг/см² по двум взаимно перпендикулярным осям, непосредственно у дневной поверхности в породах кристаллического фундамента (Н.Хаст, 1958, 1969). Подробно этот вопрос у нас рассмотрен П.Н.Кропоскиным (1971).

Н.К.Булин (ВСЕГЕИ, Ленинград)

О ВОЗМОЖНОМ ХАРАКТЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ С ГЛУБИНОЙ

Для слоистой модели земной коры величина геостатического давления (вертикального напряжения) σ_z описывается уравнением

$$\sigma_z = g \sum_{i=1}^n \rho_i h_i \quad (I)$$

где ρ_i — средняя плотность пород, h_i — толщина отдельных слоев, g — ускорение силы тяжести. Рассмотрим некоторые факторы, действие которых нарушает линейный характер возрастания σ_z с глубиной H . К их числу относятся внутривещное давление жидкости, противодействующее геостатическому давлению. Согласно М.Ш.Магиду (1971), при гидростатическом давлении и плотности жидкости $\rho_{ж} = 1$ соотношение эффективного

$\sigma_{эф}$ и геостатического давления можно оценить по формуле

$$\sigma_{эф} / \sigma_z = \frac{\rho_i - \rho_{жк}}{\rho_i} \quad (2)$$

В интервале изменения плотности пород $\rho_i = 2,6-3,3 \text{ г/см}^3$ соотношение (2) запишется

$$\sigma_{эф} = \frac{\sigma_z}{1,5} \quad (3)$$

Кроме того, необходимо учесть избыточное давление за счет теплового расширения воды. Так, при $t = 300^\circ\text{C}$ объем воды должен увеличиться на 15%. Таким образом, можно предполагать, что на больших глубинах за счет внутривещного давления флюидов величина $\sigma_{эф}$ может быть равна или даже меньше $\sigma_z / 1,5$. Приведенная оценка представляется вполне реальной, по крайней мере, для глубин 5-7 км, поскольку пористость глубинных слоев в ряде случаев достаточно высока. Так, в Казахстане известны случаи подъема с $H \approx 5$ км сухих высокопористых пород; отмечается, что в силикатные толщи удавалось закачивать до 13000 м³ нефилтующегося раствора без изменения давления в скважине (Г.Л.Поспелов, 1970).

Значительное влияние на распределение напряжений может оказывать "эффект свода". Так, под сводом антиклинальной складки, особенно ниже более прочных пород, следует ожидать значительной разгрузки напряжений. Подобную же роль играют силы, лакколиты и некоторые другие геологические тела. Общеизвестна роль гидродинамических аномалий в создании вертикальной и горизонтальной зональности поля напряжений. При этом для средней и нижней гидродинамических зон весьма существенной оказывается восходящая миграция растворов (Ю.А.Ежов и др. 1971).

По-видимому, существенное влияние на характер $\sigma_z = f(H)$ оказывают слои пониженной скорости (волноводы). Наиболее детально волновод в земной коре изучен в Гармском районе Таджикистана, где он выделяется на $H = 12-26$ км по резкому уменьшению общего количества землетрясений и их суммарной энергии, уменьшению отношения амплитуд и скоростей продольных и поперечных волн (V_p / V_s) и другим признакам (И.Л.Нерсесов,

Л.С.Чепкунас, 1970). По менее полным материалам слои с пониженными скоростями на глубинах 8-12 и 15-30 км выделены в пределах Украинского щита (Н.И.Павленкова, 1969). Можно предполагать, что коровые астеносферы, как слои пониженной прочности, будут характеризоваться пониженными значениями напряжений. Более того, если справедливы оценки К.Акиры (Akira, 1959), то на основании связи характера напряженного состояния пород с величиной параметра V_p/V_s , можно ожидать существования в волноводах зон растягивающих напряжений. К сожалению, объем горных масс земной коры с пониженной прочностью и, возможно, с отрицательными значениями $\frac{\partial \sigma_{эф}}{\partial x}$ в настоящее время точно не известен. Поэтому любопытно рассмотреть некоторые данные о верхней мантии. По данным Р.З.Тараканова и Н.В.Левото (1967), верхняя мантия Курило-Камчатской зоны имеет полиастеносферное строение, при этом оси волноводов располагаются на глубинах 50, 85, 130 и 250 км. Согласно К.Аки (Aki, 1968), анализировавшего кривые фазовых скоростей волн Лява и Релея по территории Японии, наилучшее согласие экспериментальных и теоретических данных наблюдается в том случае, когда модель мантии в интервале $H=22-105$ км содержит 2% мягкого материала с $V_s = 1,1$ км/сек, при этом "мягкие" слои толщиной 0,1-0,2 км чередуются с "твердыми" слоями толщиной 5-10 км.

На основании вышеизложенного можно предполагать, что зависимость $\sigma_z = f(H)$ имеет вид осциллирующей кривой с чередованием зон повышенных и пониженных напряжений. Не исключено, что на некоторых интервалах глубин с повышенными величинами внутриволнового давления $\sigma_{эф} \rightarrow 0$. Это является предпосылкой существования значительных по величине горизонтальных градиентов составляющих поля напряжений. Можно также предполагать, что участки наиболее интенсивной аккумуляции избыточных напряжений сжатия приурочены к интервалу глубин 5-30 км, т.е. к области максимального проявления современных сейсмических процессов.

Одной из первоочередных задач в проблеме современного напряженного состояния земной коры является изучение прочностных и вязкостных свойств глубинных слоев с помощью геофизических и горноинженерных методов (ГСЗ; высокодетальные сейсмо-

логические наблюдения, в том числе изучение микроземлетрясений; изучение поля напряжений и характера его изменения во времени и др.) Такие работы уже проводятся на Гармском геодинамическом полигоне, однако применяемый комплекс исследований пока не удовлетворяет поставленной задаче.

Г.В.Ициксон (ВСЕГЕИ, Ленинград)

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ТИПОВ ДЕФОРМАЦИЙ И
ФОРМИРОВАНИЕ РУДОИЗВЛЕКАЮЩИХ СИСТЕМ

Ранее обоснованы следующие положения (Ициксон, 1966-1970; Ициксон, Кутырева, 1970, 1971): а) в континентальных блоках металлогеническая ассоциация и масштаб эндогенного оруденения зависят от совокупности свойств тектоно-магматических рудоизвлекающих систем (РИС), свойств рудолокализирующих систем (РДС), свойств глубинных метаморфогенных рудопитающих систем (ГРПС) и глубины нахождения h метаморфогенных рудопитающих фаций в период формирования РИС: зависимость характеризуется формализованной схемой: $ЭР = f(РИС, РДС, ГРПС, h)$; б) главнейшей причиной, обуславливающей геохимические свойства метаморфических ГРПС (метаморфогенного фундамента), является тектонический фактор - геодинамические поля сжатия или расширения, возникающие в глубинных частях рудоносных структур в процессе их направленного тектонического развития; в) намечены два ведущих региональных тектоно-геохимических типа метаморфогенных ГРПС: первый - отвечающий полям сжатия, второй - расширения. Пример метаморфогенных систем сжатия - продукты динамотермального метаморфизма в корневых частях региональных надвиговых структур (фемические и сиало-фемические метаморфогенные системы надвиговых зон; сегрегирование исходных халькофилов - Au, Ag, Bi, Hg, Sb, As, Cu и др., а также Mo, отчасти W). Пример метаморфогенных систем расширения - продукты Si-K метасоматоза - гранитизации (сиалические и фемсиалические системы куполовидных и сводовых поднятий; накопление ювенильных Sn, Nb, Ta, Rb, Cs, U, Th и др.);

г) при равных РИС и РИС масштаб и состав эндогенного оруденения зависят от свойств метаморфогенной рудопитающей системы и параметра h .

Существование определенной оптимальной глубины нахождения метаморфогенного фундамента эмпирически учитывалось рядом исследователей как фактор, влияющий на распределение рудоносных площадей (Шер, 1961; Казарипов, Казакевич, Фогельман, 1967; Аникеев, Биркис, Драбкин, Кушлин, 1966 и др.); принцип действия этого фактора никем не рассматривался. Впервые схема действия параметра h предложена автором в 1968 г. и рассмотрена на конкретных примерах.

В распределении типов деформаций в горных породах существует вертикальная зональность – господство в верхнем структурном ярусе хрупких деформаций и возрастание с глубиной роли пластических деформаций (по Г.Д.Ажгирев, М.В.Гзовскому, В.М.Крейтеру, А.И.Чередниченко и др.)

Формирование любой магмо-тектонической рудозылекающей системы включает в себя процесс релаксации локального (в общем случае вертикального) поля тектонических напряжений. В пределах такого поля по вертикали, в соответствии с указанной вертикальной зональностью типов деформаций, существует две зоны: глубинная зона господства пластических деформаций и приповерхностная – с преобладанием хрупких деформаций. В каждой из этих зон релаксация тектонических напряжений различна по способу взаимодействия с веществом окружающих пород.

Пластические деформации (ПД) фиксируются необратимыми изменениями в кристаллах, вплоть до полной перестройки кристаллических решеток^I. Процесс ПД обусловлен необратимым переходом через энергетический барьер определенных активированных структурных частиц кристалла (элементов, ассоциаций, элементов, образование дислокаций, вакансий и т.д.) В кристаллах и кристаллическом веществе горных пород ПД ведут к появлению

^I Обзор сведений о пластических деформациях и физико-химические основы этих процессов в горных породах даны А.И.Чередниченко (1964); минералогические аспекты пластических деформаций рассмотрены Д.П.Григорьевым (1961) и Н.П.Юшкиным (1971)

потока активированных ионов, не вошедших в новые решетки, отвечающие данному полю напряжений. ПД в тектонических полях — это тектоно-геохимические реакции, означающие направленное превращение энергии тектонических напряжений в химическую энергию, т.е. в направленное перераспределение связей и вещества в кристаллах и горных породах. Отсюда следует, что формирование тектонического нарушения в глубинной зоне ПД является реакционно активным тектоно-геохимическим процессом; релаксация напряжений сопровождается извлечением элементов (\mathcal{X}) из деформируемого кристаллического вещества (S), что может быть представлено схемой: $S + \varepsilon \rightarrow S' + \mathcal{X}$ под ε понимается энергия тектонического напряжения в данном объеме.

В области упруго-гистерезисных деформаций, в соответствии с направленно необратимым применением тектонического напряжения, совершается тот же необратимый реакционный геохимический процесс пластических деформаций, но в более локальных объемах, отвечающих "петле гистерезиса".

Выше границы ПД тектоническое нарушение вступает в зону господства хрупких деформаций. В этой зоне напряжения релаксированы преимущественно в виде механических разрушений (I, II, III рода, по Фридману, 1960), ведущих к образованию различного рода разрывов. Здесь химические изменения горных пород (S), в том числе извлечение из них каких-либо элементов происходит за счет активного взаимодействия растворов (\mathcal{X}) по схеме $S + \mathcal{X} \rightarrow S' + \mathcal{X}'$. Это — зона отложения рудного вещества, зона формирования рудокоагулирующей системы.

Таким образом, в магмо-тектонической рудоизвлекающей системе ее глубинная зона, расположенная ниже верхней границы пластических деформаций (ПД) представляет собой тектоно-геохимически активную часть этой системы. Это зона потенциального рудоизвлечения или корневая часть (истоки) гидротермальной системы. Зарождение в этой зоне проницаемости — появление вакансий, переходящих в поры и трещины, рассмотрено Ф.А.Летниковым (1969).

Следовательно, наиболее полное извлечение рудного вещества происходит из тех частей метаморфогенного фундамента

(метаморфогенной рудопитающей системы), которые в период формирования рудоизвлекающих тектоно-магматических систем находятся ниже верхней границы ПД, т.е. находятся в области рудоизвлечения.

Глубина h , т.е. глубина критического уровня рудоизвлечения, не абсолютна и зависит от ряда конкретных факторов: 1) от состава, строения, физических и ряда геологических свойств рудопитающих метаморфических пород; 2) от свойств самих элементов и формы их нахождения в метаморфических рудопитающих породах; 3) от энергетических свойств рудоизвлекающей тектоно-магматической системы, от знака поля тектонических напряжений рудоизвлекающей системы и т.д.

В целом, тектоническое нарушение, контролирующее магматические образования и эндогенную минерализацию, представляет собой колонну деформаций с закономерно зональным распределением типов деформаций в вертикальном разрезе. Различные положения относительно этой колонны различных фаций метаморфогенного фундамента определяет геохимические условия, в разной степени благоприятные для поступления в эту колонну (и удаления из нее) тех или иных рудных элементов.

В определенных геологических обстановках, согласно предложенной выше схеме, масштаб и комплексность эндогенного оруденения, решающим образом зависят от глубины нахождения h метаморфогенных рудопитающих фаций. Одной из первоочередных задач металлогенического анализа и оценки перспектив должно быть районирование территории по тектоно-геохимическим типам метаморфогенных рудопитающих систем с учетом параметра h , применительно к конкретным типам эндогенного оруденения, типам рудоизвлекающих и рудолокализирующих систем.

Намеченная схема рассмотрена на примере оловоносных и золотоносных районов Востока СССР.

ПОЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ КАК ИНДИКАТОРЫ
ПРОЯВЛЕНИЯ НАГРУЗОК В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Выявление признаков проявления напряжений в горных породах чисто геологическими методами не всегда возможно, поэтому для решения поставленной задачи необходимо выбрать такой геофизический параметр, который удовлетворял бы следующим требованиям: а) информативностью по отношению к изучаемому явлению, б) достаточной "чувствительностью" на изучаемый признак, в) повышенной "избирательностью" к данному фактору по сравнению с влиянием других. Важно также, чтобы выбранный параметр легко измерялся. Анализ теоретических и экспериментальных данных показывает, что среди физических параметров горных пород указанным требованиям в значительной мере удовлетворяет скорость распространения упругих волн.

Опишем некоторые приемы анализа полей скоростей упругих волн в геологическом разрезе Прикарпатья. В большинстве случаев скорость заметно возрастает с глубиной, причем наиболее резко до глубины 1000-1500 м. Градиент скорости с глубиной уменьшается. В первом приближении зависимость скорости от глубины можно выразить зависимостью такого вида $V = \alpha H^{1/n}$, где α - постоянный коэффициент, n - показатель возрастания скорости с глубиной ($n \approx 6$, но увеличивается для более уплотненных осадков). Общая величина возрастания скорости в породах с глубиной в реальных условиях обычно значительно больше, чем изменение скорости в лабораторных условиях под нагрузкой, соответствующей конкретной глубине. Это объясняется тем, что в лаборатории воспроизводится только упругая деформация, которая была снята при извлечении породы на поверхность. Величина же обратимого изменения скорости значительно меньше общего увеличения скорости с глубиной, обусловленного рядом процессов консолидации пород (уплотнение, цементация, перекристаллизация и пр.) Таким образом, при наличии зависимостей скорости от глубины (по материалам

сейсмического каротажа) и от давления, соответствующего данной глубине залегания (по данным лабораторных измерений) эффекты современного напряженного состояния и прошлых воздействий могут быть разделены.

Кривая изменения скорости с глубиной отражает также и литолого-структурные особенности пород. Некоторые исследователи выделяют "компрессионную" и "литологическую" составляющие (Козлов, 1964). Исходя из сущности геологических процессов, определяющих изменение скорости по вертикали, можно принять, что компрессионная составляющая является закономерной, а литологическая случайной. Это позволяет применить известные математические методы выделения регулярной и случайной составляющих скоростной функции. Для характеристики геологического разреза в целом рационально использовать кривые средней скорости, на которых локальная изменчивость свойств отдельных пластов (особенно на большой глубине) сказывается в меньшей степени.

При условии постоянства плотности перекрывающих пород схема средней скорости упругих волн будет характеризовать изменение средней скорости в определенном сечении при постоянной статической нагрузке. Следовательно, она будет нести информацию о литологической неоднородности пород и проявлении динамических нагрузок. С этой целью нами строились схемы средней скорости до глубин 1000, 2000, 3000 м. Представляют интерес и другие схемы, например, схема вертикального градиента \bar{V} (Петкевич, Потульницкий, Самойлюк, 1972), которая отражает характер изменения средней скорости с глубиной по площади, т.е. особенности уплотнения пород.

В результате анализа пространственного изменения скорости в геологическом разрезе Прикарпатья установлено, что современная вертикальная нагрузка играет более существенную роль в молодых терригенных осадках. Для более древних, как правило, более уплотненных пород ее влияние незначительно. Значительное влияние на формирование пород региона оказали динамические нагрузки. Сопоставление $V_n = f(H)$ для отдельных комплексов пород (третичных, меловых) с другими регионами

(например, Днепровско-Донецкой и Прикубанской впадинами) показывают, что значения скоростей в Прикарпатье в среднем выше на 15-25%. Несмотря на то, что в сторону Карпат осадки резко погружаются и относительно мало изменяются по литологии, отмечается общая тенденция возрастания средней скорости при приближении к горной системе, что можно объяснить только возрастанием роли динамических нагрузок в данном направлении. Горизонтальный градиент средней скорости в юго-западном направлении от границы предгорного прогиба с платформой до зоны первых карпатских скиб составляет в среднем 20-30 м/сек/км. Принимая указанную тенденцию за региональный фон и пользуясь известными приемами, можно построить схему локальных аномалий средней скорости. В пределах вытянутых вдоль Карпат фациальных зон (относительно выдержанных по литологии осадков) эти аномалии можно связывать со структурными формами подземного рельефа, отличающихся степенью проявления тектонических напряжений. Так, в полосе глубинных складок у Берегового надвига Карпат можно выделить несколько локальных минимумов средней скорости, отображающих зоны разуплотнения и нарушенности, приуроченных к Бориславской, Долинской и Битковской глубинным нефтегазоносным складкам.

И.М.Плотников, Г.Г.Юревич
(ВСЕГЕИ, ЛГИ, Ленинград)

О СООТНОШЕНИИ МЕХАНИЗМОВ БЫСТРЫХ И МЕДЛЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Ранее (Плотников, Петров, 1965, 1969) высказывалось предположение о том, что наблюдаемые проявления пространственной периодичности (симметрии) распределения тектонических структур и ряд других геологических феноменов обусловлены волновой природой механических напряжений. Еще раньше (Апродов, 1942) такое представление привлекалось для объяснения периодичности пространственного распределения трещин в плутонах.

Для части геологов и механиков оказалось затруднительным

восприятие представлений о волновой природе механических напряжений в применении к напряжениям, создаваемым длительно действующими так называемыми "статическими" или квазистатическими нагрузками, обуславливающими медленные деформации нагруженных тел. В связи с этим, представляется целесообразным обратиться к особенностям механизма медленных деформаций, к чертам различия и сходства его с механизмом быстрых деформаций, протекающих при быстрых изменениях нагрузки, которые делают очевидным динамический характер явления и тем самым облегчают понимание волновой природы напряжений.

В конечном счете, различия в механизмах медленных и быстрых деформаций обусловлены различиями скоростей передачи энергии от внешнего источника деформируемому телу (системе). Спектр возможных значений этих скоростей непрерывен, если мы рассматриваем деформации макросистем и можем пренебречь квантовостью энергии. Разграничение медленных и быстрых деформаций не основывается на каком-либо более или менее отчетливо выраженном естественном рубеже и в сущности своей весьма условно. В основе и тех и других должен лежать единый механизм передачи энергии, а все качественные различия механизмов деформаций при различных скоростях их протекания должны иметь фундамент в количественных различиях проявления (действия) механизма передачи энергии.

Общепризнанно, что при воздействии на систему кратковременной (импульсной) нагрузки энергия, сообщаемая системе, распространяется в последней посредством волн напряжений (звуковых волн). Известно также, что приложение "статической" нагрузки к какой-либо точке системы регистрируется прибором (приемником) в другой ее точке через отрезок времени, равный частному от деления расстояния между этими точками на скорость звука в данной системе ("волна нагрузки"). Также со звуковой скоростью распространяется в системе сигнал о снятии нагрузки ("волна разгрузки"). В промежутке между временами прихода волн нагрузки и разгрузки показания приемника стабильны, в связи с чем состояние системы в этом промежутке принято считать статическим, несмотря на то, что системе сообщается энергия, затрачиваемая на ее деформацию.

И "волна нагрузки" и "волна разгрузки", отражая однонаправленные изменения состояния системы, будучи взяты в отдельности не могут рассматриваться в качестве волн. Волну они образуют только рассматриваемые совместно (вместе с разделяющим их "стабильным" нагруженным состоянием системы). Такая волна изображается графически в виде протяженного горизонтального (параллельного оси времени) отрезка прямой, соединяющегося в начале с восходящим ("волна нагрузки"), а в конце - с нисходящим ("волна разгрузки") отрезками кривых. От привычной волны импульсной нагрузки она отличается только большей растянутостью вдоль оси времени и подобно ей моновариантно раскладывается в ряд (спектр) синусоидальных волн. С физической точки зрения это означает, что длительно действующая "статическая" деформирующая нагрузка представляет собой суммарный результат нескольких колебаний величины нагрузки, осуществляющихся с различными частотами.

Второе затруднение в восприятии развиваемых представлений связано с малыми значениями величин энергии отдельных волн, генерируемых "статическими" нагрузками при медленных деформациях. Некоторым исследователям эти величины представляются пренебрежимо малыми в сравнении с величинами энергии связей, действующих в системе.

Необходимо учитывать, что деформация сколь угодно больших макроскопических тел представляет собой процесс перестройки или разрушения связей, осуществляющийся на атомно-молекулярном уровне.

Расчет, выполненный по материалам опытов Г.В.Трапезникова (1929) по растяжению металлических стержней с образованием периодически расположенных "шеек", показал что энергия элементарной бегущей волны длиной 2 см, генерируемой в стальном стержне радиусом 1 см растягивающей нагрузкой в $2 \cdot 10^6$ Г/см², составляет 22 эрга. Эта величина примерно в 10^{18} раз превышает энергию единичной ионной связи в кристаллической решетке, определяемую Е.Д.Шуниным (1971) в $2 \cdot 10^{-12}$ эрга, и только примерно в 300 раз меньше энергии, необходимой по данным того же автора для разрыва всех связей в одном из сечений такого стержня. Если учесть, что частота колебаний в этом случае состав-

дляет около 80 килогерц, станет понятно, что даже при незначительном поглощении энергии (при высокой акустической прозрачности материала) энергии волн достаточно для того, чтобы в относительно короткий промежуток времени обеспечить макроскопически ощутимую деформацию стержня.

В процессе расчета установлена зависимость энергии элементарной волны от ее периода и величины деформирующей силы, выражаемая уравнением $E = KFT^2$, где E - энергия волны, F - сила, T - период волны, а K - постоянная (для условий поверхности Земли) величина с размерностью ускорения, равная 23 см/сек^2 .

Н.Е.Мартьянов (Красноярск)

ПРОИСХОЖДЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Короткопериодические трансгрессии и регрессии обнаруживаются при анализе проблемы подводных долин, которые могли образоваться только на суше, в результате эрозионной работы рек. Глубина вреза подводных долин достигает 2 км, из этого следует, что окраины материков достигали высоты до 2 км; в настоящее время они опущены до глубин 4 км. Следовательно, амплитуда колебаний материковых окраин достигает 6 км.

Анализ современных движений материковых окраин (Храм Сераписа) обнаруживает их периодичность с периодом в тысячи и первые десятки тысяч лет.

Колебательные движения легко объяснимы в свете концепции пульсаций Земли. Представление о раскалывании и раздвигании единого блока коры материкового типа на поверхности расширяющейся планеты неизбежно приводит к мысли, что кора материкового типа пульсирует с гораздо меньшей интенсивностью, чем более глубокие горизонты планеты. Поэтому, в первом приближении можно пренебречь собственными пульсациями коры материкового типа и рассмотреть бинарную систему из неп пульсирующей коры и пульсирующей мантии,

В диастолическую фазу пульсаций, когда радиус планеты увеличивается на величину Δr , континентальная дуга k переместится относительно центра планеты из положения I-I в положение II-II. В каждой точке контакта между корой и мантией возникает две взаимно перпендикулярные силы - одна из них, направленная по радиусу вверх, вторая, направленная от центра материка к его окраинам. Равнодействующая этих двух сил должна быть направлена вверх и от центра материка к его окраинам. По своей величине радиальная составляющая пропорциональна приращению радиуса и потому имеет одно значение во всех точках. Тангенциальная составляющая пропорциональна дуге раздвигания ρ . Согласно формуле $\rho = \frac{\Delta r \cdot k}{r}$ дуга раздвигания ρ прямо пропорциональна размерам континентальной дуги k . Так, континентальной дуге k_1 соответствует дуга раздвигания ρ_1 , а континентальной дуге k_2 соответствует дуга раздвигания ρ_2 и т.д.

Но так как $k_2 > k_1$, и соответственно $\rho_2 > \rho_1$, то очевидно, что тангенциальная составляющая возрастает от центра материка к его окраинам. Соответственно и равнодействующая этих сил достигает своего максимума у окраин материка. Под действием этих сил окраины материка должны приподняться.

В систолическую фазу пульсаций, когда радиус планеты уменьшается на величину Δr , континентальная дуга k переместится из положения I-I в положение III-III. При этом вертикальная составляющая будет направлена вниз, а тангенциальная составляющая - от окраины материка к его центру. По соображениям, изложенным выше, равнодействующая должна возрастать от центра материка к его окраинам. Под действием этих сил окраины материка должны опуститься.

Именно такое опускание окраин материков происходит в настоящее время, причем положение равнодействующей, направленной от океана под материк, обрисовывается расположением фокусов землетрясений, т.е. так называемой фокальной поверхностью.

Итак, колебательные движения земной коры возникают только на окраинах материков. Скорость их различна, она возрастает пропорционально расстоянию от центра материка. Если в

прибрежной части она составляет миллиметры в год, то на внешней части шельфа и особенно на материковом склоне она должна составлять метр и более в год.

Далеко не все вертикальные движения земной коры являются колебательными. Сжатие или расширение мантии происходит во всех направлениях одинаково, следовательно и взаимодействия мантии и коры осуществляются не только по линии перпендикулярной берегу, но и вдоль побережья, вызывая его коробление. Вертикальные движения земной коры, связанные с ее короблением, резко отличаются от колебательных движений меньшей интенсивностью как по амплитуде, так и по скорости и всегда имеют волнообразно-сопряженный характер. Так, складчатые сооружения Скандинавии и Шотландии, которые испытывает сейчас поднятие, и опускающиеся между ними Нидерланды обрисовывают волну вертикальных движений, связанных с короблением земной коры на сжимающейся мантии. Как показало изучение линии Форхаммера (линия, где вертикальные движения в Балтийском море равны нулю), она смещается на север, т.е. область опусканий наступает на область поднятий. Отсюда следует, что все северо-западное побережье Европы, вместе с ее относительно поднимающимися участками, испытывает сейчас опускание.

Опускания окраин всех материков определяют современную трансгрессию, которая явилась причиной отступления льдов за последние 18-19 тысяч лет, а не следствием этого отступления, как полагают многие геологи.

Н.Ф.Балуховский (ГИН АН УССР, Киев)

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ ВЕЩЕСТВА И ЕЕ РОЛЬ В ПРОЦЕССАХ ТЕКТОГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ СОЛЯНОГО ДИАПИРИЗМА)

Рассматривается полная внутренняя энергия (E) твердого тела, в частности, каменной соли в термодинамических условиях стратисферы.

$E = E_t + E_s + E_o + E_c$, где E_t - тепловая энергия;
 E_s - энергия акустических и сейсмических колебаний (энергия фононов), E_o - обменная энергия; E_c - энергии связи.

$E_c = \frac{1}{2} (A - J - R + E_k)$, где A - электронное сродство; J - энергия ионизации; R - энергия оттаивания; E_k - кулоновская энергия притяжения.

Свободная энергия кристалла $F = E - TS$, где T - абсолютная температура $^{\circ}K$, S - энтропия.

Свободная энергия пластичного кристалла $G = H - TS$, где H - энтальпия.

$H = E + PV$, где P - давление, V - объем.

Это рассмотрение показывает, что после перехода соли в пластическое состояние ионы галита приобретают множество свобод и приходят к термодинамическому равновесию с окружающей средой. Таким образом, энергетический режим соли меняется с аккумулятивного на разрядный. Соответственно, в тектоническом цикле соляного диапиризма могут быть выделены два этапа.

I. Метаморфогенный этап. В геохимической истории преобразования галита первичную перекристаллизацию следует рассматривать как метаморфогенный этап - переход разрозненных кристаллов твердого галита в пластичный монолит. Соль переходит в пластическое состояние в первую очередь на изгибах складок, где достигает максимального значения растягивающие и сжимающие усилия. В.К.Гавриш (1965) указывает, что максимальные расклинивающие напряжения в твердой каменной соли возникают при дифференцированных подвижках отдельных блоков вдоль разломов, что и служит причиной ее трансформации в пластическую массу.

Потеря упругой устойчивости решетки при критическом напряжении происходит в локальных областях. На отдельных участках появляются трещины, вдоль которых проявляется скольжение и пластическая деформация кристаллов. Результатом пластической деформации в кристаллической решетке галита служит упругое смещение атомов натрия и хлора из равновесного положения. Энергия упругого смещения резко повышает потенциальную энергию кристаллов и переводит их в состояние термодинамической неустойчивости. Некоторые ионы натрия и хлора достигают предельной термодинамической неустойчивости, вследствие чего

нарушается связь в решетке. Энергия, которую получают при пластической деформации решетки минералов, носит название энергии активации, максимумы находятся вблизи полос скольжения.

Вследствие самонагревания, солевое тело увеличивается в объеме, растрескивается и частично гидратизируется. Ослабляются электрические связи в решетке и высвобождается энергия фононов. Это приводит к разрыву решеток и скольжению кристаллов по плоскостям спайности. Появление микротрещин по плоскостям спайности увеличивает объем каменной соли на 10–15%, что приводит к инверсии геотектонического режима и образованию первичного соляного купола.

2. Этап соляных интрузий или автодиапиризма. Активные внутренние силы, заключенные в пластичной каменной соли, по энергетическим признакам в какой-то мере уподобляют ее магме. Принципиальное различие заключается в высокой температуре магмы и насыщенности ее газами. В данном случае, если продолжать аналогию, можно говорить лишь о низкотемпературной и негазоносной магме. Способность погребенной пластичной соли аккумулировать "тектоническую" энергию стратисферы и реализовать ее в виде конкордантных соляных интрузий, подкрепляет допустимость приведенной терминологии.

Рассмотрение закономерностей формирования и размещения соляных куполов в аспекте автодиапиризма позволяет понять и объяснить линейное или кустовое группирование соляных куполов в тектонически активных зонах, происхождение симметричных или несимметричных отпрессованных блок-антиклиналей, приуроченность куполов к погружениям фундамента, связь нефтегазоносности с гипсометрическими уровнями каменной соли и так далее. Соображения о природе соляного тектогенеза можно синтезировать в виде гипотезы автодиапиризма или атермического магматизма.

ТЕПЛОВЫЕ ПОЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗОНАХ

По современным представлениям (Любимова, 1968, Кутас, Гордиенко, 1971) тепловой поток (ТП), наблюдаемый на поверхности Земли, состоит из радиогенного ТП земной коры и верхней мантии и аномальной составляющей. Радиогенный ТП образуется при распаде радиоактивных элементов (уран, торий, калий), рассеянных в породах земной коры и верхней мантии до глубины 400-700 км по разным оценкам. В стабильных районах - щитах, древних платформах - поверхностный ТП ($0,7 - 1,0$ мкал/см².сек) представлен практически целиком радиогенной составляющей, причем величина подкорового потока не превышает $0,15-0,20$ мкал/см².сек. При крупных геодогических перестройках, например, в геосинклинальный период, в мантии вероятно появление дополнительного источника тепла (например, вследствие подъема астенолита, по Белоусову, 1966), действующего сравнительно недолго - 30-50 млн лет. Дополнительный источник через определенный промежуток времени вызывает повышение поверхностного ТП. Это приращение называют обычно аномальной составляющей.

Естественно предположить, что при прочих равных условиях, чем древнее складчатость, тем меньше аномальная составляющая и ТП. Такая интерпретация представляется приемлемой, поскольку накапливающиеся результаты измерений ТП позволяют уверенно установить обратную зависимость его величины от возраста тектогенеза. Подтверждают эту зависимость и наши измерения (Монсеенко, Дучков, Соколова, 1971) в Алтае-Саянской области, где в каледонидах центральных районов (Горная Шория, Кузнецкий Алатау, западный склон Восточного Саяна) величина ТП ниже, чем в Южно-Минусинской и Кузнецкой герцинских межгорных впадинах (таблица).

Изучение материалов о содержании радиоактивных элементов в поверхностных породах, а также использование имеющихся представлений о строении и вещественном составе земной коры позволило оценить также вероятные величины ТП из верхней

магниты и составить геотемпературные разрезы для рассматриваемых регионов (таблица). Следует отметить, что в силу инерционности теплового поля расчеты для глубин 20-30 км и более характеризуют температурные условия в земной коре 20-30 млн лет назад, т.е. в неогене (Гордиенко, 1971).

Таблица

Регион	I	II	III	IV	V	VI
1. Западно-Сибирская плита (центральные и южные районы)	1,0	0,15-0,2	38	400	70	460
2. Каледониды центральных районов Алтае-Саянской области	1,05	0,3-0,4	42	490	43	190
3. Герцинские межгорные впадины Алтае-Саянской области	1,35	0,65-0,75	38	690	24	100
4. Юг Сибирской платформы	1,05	0,2	39	410	76	470
5. Рифтовая зона (Южно-Байкальская впадина)	2,5	1,75	38	1150	11	40
6. Юго-западное Забайкалье (район Удинской впадины)	1,4	0,65	40	680	30	80
7. Юго-западное Забайкалье (Джидинский район)	2,0	1,05	45	1080	15	60
8. Юго-восточная Камчатка (Корякско-Авачинская и Паратунская депрессии)	1,5	1,1	28	700	18-19	60-70

ПРИМЕЧАНИЯ к таблице: I - средний поверхностный ТП (мккал/см².сек), II - средний ТП из магниты (мккал/см².сек),

III - глубина до поверхности "М" (км); IV - вероятная температура на поверхности "М" ($^{\circ}\text{C}$); У - глубина изотермы 500°C (км); VI - глубина изотермы 1200°C (км).

Вариации поверхностного ТП проявляются и даже подчеркиваются в подкоровом ТП. Низкий поток из мантии характерен для платформ и каледонских складчатых сооружений Алтае-Саянской области. Герциниды последней и претерпевшие значительную активизацию каледониды юго-западного Забайкалья имеют более высокий подкоровый ТП. И, наконец, аномальный ТП поступает из верхней мантии в Байкальской рифтовой зоне, Джидинском районе юго-западного Забайкалья и юго-восточной Камчатке.

Представляется, что этап платформенного и орогенного развития Западно-Сибирской плиты в мезо-кайнозойе, а также неоген-четвертичный орогенез в Алтае-Саянской области не связаны с появлением в верхней мантии выше 70-100 км заметного источника тепла ("холодная" перестройка). Напротив, в Забайкалье связь ТП с интенсивностью неоген-четвертичных движений, повышенные величины подкорового ТП, наряду с неоген-четвертичным вулканизмом, позволяют думать, что процесс рифтообразования связан с появлением источника тепла в верхней мантии.

И.С.Гольдберг (ВИТР, Ленинград)

О ВОЗМОЖНОЙ РОЛИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ МОБИЛИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА

Источником элементов, слагающих руды, не всегда служат глубинные магматические очаги. Нередко в качестве такого источника рассматривается среда, вмещающая оруденение. Представление о мобилизации рудных компонентов из вмещающей среды находит все большее подтверждение в теоретических и экспериментальных исследованиях.

Мобилизация вещества включает в себя процессы растворения, перемещения и концентрирования. Однако, при изучении этого явления обычно рассматривается конечный результат;

механизм же мобилизации вещества остается не раскрытым, как и энергия, обеспечивающая этот процесс.

Вместе с тем в земной коре имеются источники энергии, генетически связанные с гидротермальными процессами, которые до сих пор практически не оценивались. Это так называемые фильтрационные электрические поля, само существование которых связано с движением водных растворов через горные породы. Так как гидротермальное минералообразование связано с участием водных растворов, фильтрационные электрические поля являются постоянно действующим фактором и могут оказывать влияние на процессы минералообразования.

Фильтрационное электрическое поле возникает в связи с появлением потенциала протекания при движении жидкости через пористые среды. Величина потенциала протекания определяется линейной скоростью движения заряженных частиц и концентрацией их в диффузной части двойного слоя. Первое является функцией давления, второе — функцией электрокинетического потенциала. Электрическое поле может замыкаться внутри фильтрующегося потока или вне его при наличии проводящей ионной или электронной среды. В последнем случае такое электрическое поле будет производить работу во внешней среде.

Под действием таких электрических полей в природных геологических средах должны протекать различные электрохимические процессы: растворение твердой фазы, перемещение ионов через поровые растворы горных пород, накопление вещества и его отложение. Зная плотность тока, задавшись временем и принимая электрохимический эквивалент равным I , можно по закону М. Фарадея оценить количественно эти процессы для любой площади фильтрующегося потока. На лабораторной установке, где мощность источника электрической энергии составляла $3,6 \cdot 10^{-8}$ ватт/м², количество вещества, которое могло быть растворено, перемещено и отложено под действием такого источника, равнялось 10 гр/м² в год. Можно ожидать, что в условиях земной коры при перепаде давлений только в десятки атмосфер, учитывая линейный характер зависимости потенциала и тока от давления, эта величина составит 10 кг/м² в год, а за геологический

период - несколько сотен и даже тысяч тонн для площади фильтрующегося потока в 1 м^2 .

Процессы, которые могут вызывать такие материальные изменения, заключаются в следующем. Движение заряженных частиц в поле электрического тока будет приводить к смещению равновесия в системе поровый раствор - твердая фаза с растворением минералов и заменой одних минеральных ассоциаций другими.

Заряженные частицы будут перемещаться в соответствии с их зарядами и различными полюсам поля. Для природных водонапорных систем такими полюсами должны быть области питания (создания напора) и области разгрузки. Именно между этими участками возникает максимальная разность потенциалов.

Поскольку большинство природных сред (многие силикатные и алюмосиликатные минералы) имеют отрицательный заряд поверхности, то при восходящей фильтрации растворов будет наблюдаться возрастание положительного потенциала в направлении потока. В этом случае положительно заряженные частицы будут перемещаться к нижней области. Особенность фильтрационного электрического поля заключается в том, что максимальные напряжения поля достигаются внутри потока, в результате катионы из вмещающей среды будут стягиваться к каналу фильтрации и увлекаться потоком в верхнюю часть системы, в область разгрузки, где движение воды практически приостанавливается. Этот процесс должен приводить к последовательному выносу оснований из нижней части системы с образованием зон, обедненных основаниями. В то же время в верхней части системы должно происходить накопление оснований и - при определенных условиях - их отложение. В результате в этой части системы должны образовываться минеральные ассоциации, обогащенные труднорастворимыми основаниями.

Рассмотренная схема возникновения зональности, связанная с перераспределением компонентов, в конечном счете обусловлена разделением зарядов при фильтрации растворов. Появление при этом электрического поля и возбуждение электрохимических процессов является следствием такой дифференциальной

подвижности заряженных частиц. В подобной трактовке может найти свое объяснение и физико-химическая природа "фильтрационного эффекта", предсказанная Д.С. Коржинским.

Частным случаем перераспределения вещества является процесс мобилизации, приводящий к концентрированию компонентов (в том числе рудных) в увлокализованных зонах.

Н.И. Гельфанд (ИГиГ СО АН СССР,
Новосибирск)

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ФЕРРОМАГНЕТИЗМА В ЗЕМНОЙ КОРЕ

М.М. Тетяев (1984) отметил, что сходство геомагнитных явлений с колебательными движениями земной поверхности позволяет предположить между этими явлениями внутреннюю связь, поэтому мы вправе предположить, что магнитные явления являются одной из сторон общего процесса развития Земли.

Наличие связи между сеймотектоническими и геомагнитными явлениями (Д.Н. Казанли, 1948, А.И. Оль, 1949, Б.М. Ляхов, 1959 и др.) позволяет проследить возможную историю возникновения и развития ферромагнетизма в виде генетически взаимосвязанных форм, сменяющих друг друга в пространстве и во времени. Задача заключается в том, чтобы воспроизвести процесс возникновения ферромагнетизма в земной коре по известному результату процесса. Для решения этой задачи нужно найти исходный пункт процесса и построить генетическую пару.

Наличие связи между геомагнитными и тектоническими явлениями позволяет высказать следующее соображение: самопроизвольная намагниченность (дальний магнитный порядок) в земной коре представляет собой выражение особого состояния магнитного порядка в глубинных оболочках Земли, это состояние характеризуется особой подвижностью магнитного порядка, в частности, особой подвижностью векторов намагниченности, на что указывает наличие вековых вариаций геомагнитного поля и резкие, вплоть до поворота на 180° , изменения направления векторов

намагниченности, коррелируемые с геологическим возрастом.

По современным представлениям резкие изменения намагниченности при незначительном изменении термодинамических условий имеют место в области ближнего магнитного порядка (б.м.п.), поэтому в качестве формы ферромагнетизма с особой подвижностью магнитного порядка принимаем б.м.п.

По сейсмотектоническим данным намечается следующая модель Земли: область квазистационарных процессов - от центра Земли до подошвы переходного слоя, область нестационарных процессов - от подошвы переходного слоя до кровли зоны пониженных скоростей, область квазистационарных процессов - от кровли зоны пониженных скоростей до поверхности Земли. Из модели следует, что сейсмотектонические процессы в Земле по ходу протекания во времени носят унаследованный характер. Если принять, что связь между геомагнитными и сейсмотектоническими явлениями по характеру протекания их во времени является общей для всей Земли, то и геомагнитные явления по ходу протекания во времени могут иметь унаследованный характер. Тогда, принимая в качестве генетической пары б.м.п. (исходное состояние) - д.м.п. (состояние - результат), появление в земной коре д.м.п. можно рассматривать как унаследованное развитие магнитного порядка, а эволюцию магнитного порядка - как переход от постоянной намагниченности б.м.п. через переменную намагниченность б.м.п. к постоянной намагниченности д.м.п., т.е. в основе эволюции магнитного порядка лежит стремление к магнитному упорядочению.

Наиболее вероятно, что слой с постоянной намагниченностью б.м.п. безотносительно к температуре находится в условиях как при абсолютном нуле. По современным представлениям (Давыдов Б.И., 1955) такие условия могут быть во внутреннем ядре. Слоем с переменной намагниченностью б.м.п., по-видимому, является переходный слой, так как наблюдаемые в нем явления можно объяснить за счет возникновения б.м.п.: аномальный градиент скорости сейсмических волн - переходом с ионного типа связи на ковалентную в оливине (Магницкий В.А., 1956) (ковалентная связь может обусловить ряд явлений, в том числе

и ферромагнетизм), аномалию электропроводности - переходом на примесную полупроводниковую проводимость (Жарков В.Н., 1958) и вследствие истинного намагничивания, наличие же обменных взаимодействий и объемной магнитоотрицания можно использовать для объяснения периодичности тектогенеза и совпадения центров эволюционного хода с эпицентрами глубокофокусных землетрясений.

Из такого толкования переходного слоя следует, что в мантии ферромагнетизм появляется в результате магнитного фазового перехода первого рода у оливина - минерала, который в земной коре находится в парамагнитном состоянии.

Если магнитоотрицание и обменные взаимодействия рассматривать как спусковой механизм для сейсмоструктурных явлений, то в области существования б.м.п. можно ожидать формы тектогенеза, связанной с объемными изменениями вследствие изменения межатомных расстояний, а в области существования д.м.п., вследствие линейной магнитоотрицания, формы тектогенеза, связанной с линейными (без изменения объема) изменениями вследствие изменения кристаллической решетки. Если нижней границей существования самопроизвольной намагниченности (д.м.п.) является поверхность Мохоровичича (Гельфанд Н.И., 1969), то она является и границей качественно новой формы тектогенеза.

В соответствии с предполагаемым распределением ферромагнетизма в Земле имеет место чередование ферромагнитных и неферромагнитных слоев, т.е. формированию магнитного порядка в Земле свойственна резко выраженная прерывность и во времени, и в пространстве.

Сущность возникновения б.м.п. - переход парамагнетизм-ферромагнетизм. С появлением в ядре б.м.п. ("зародышей" ферромагнетизма) вследствие вращения Земли появилось начальное геомагнитное поле. Магнитный порядок в мантии и земной коре возник в магнитном поле ядра.

Передачу особенностей магнитного порядка в радиальном направлении можно объяснить с позиции гипотезы расширения Земли.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие	3
Л.М.Плотников, Г.М.Беляев, Г.В.Дитмар, В.Т.Свириденко. Содержание и задачи геодинамики и внутренней геодинамики	9
А.А.Хлобустов. Схема взаимодействий в си- стеме "Земля"	II
Л.М.Плотников, Н.Н.Тазихин. О геостатиче- ском равновесии и основном законе геодинамики	13
Л.М.Плотников, Г.М.Беляев, Г.В.Дитмар, В.Т.Свириденко. О классификации и взаимосвязях эндогенных процессов	16
В.А.Пирогов. Физические основания волновой геодинамики	19
В.В.Богацкий. Геологические структуры как ареалы реализации силовых полей (климатическая модель региональных структур)	28
В.И.Васильев. О структурных основах кван- товой геодинамики	26
В.И.Васильев. Механизм формирования много- гранных форм поверхностей планет	29
В.В.Немец. Регулярность геологических структур - математическая геология - геодина- мика	32
А.Г.Комаров. Гравитационное сжатие-расши- рение планеты как основа глобальной геодинамики	34
Б.А.Ермолаев. Баричесентр системы "Земля-Луна" и его значение для геодинамических и геомагнитных построений	36
Г.М.Стовас. О влиянии ротационного режима Земли на формирование тектонических структур . .	38

В.В.Соловьев. Конфокальные палеоморфо- структуры как отражение глобальных закономер- ностей тектогенеза	40
Г.И.Степанов. Дуговые мегаструктуры земной коры и закономерности их развития	44
А.В.Долицкий. Системы линейных структурных элементов земной коры	46
А.В.Долицкий. Двойная симметрия в располо- жении материков и линейных структурных элементов материковой коры	48
А.В.Долицкий. Природа построения и пере- стройки структурных планов	51
В.Н.Пучиков. Поле напряжений земной коры и его отражение в крупнейших тектонических струк- турах	54
Н.К.Булин. Современные напряжения в земной коре и их связь с некоторыми механическими свой- ствами горных пород	57
Г.Н.Лукашев. Моделирование планетарной тре- щинчатости (основной делимости земных оболочек)	59
Е.И.Паталаха, М.К.Аполлонов. Сб энергетиче- ского аспекте геосинклинального и платформенного режимов развития земной коры	61
Е.И.Паталаха. О природе и характере сил, стимулирующих складкообразовательные процессы на платформах и в геосинклиналях	62
В.Д.Вознесенский. Динамика развития поли- циклических геосинклинально-складчатых областей	65
С.А.Ушаков, Н.А.Шабалин. Динамика литосферы рифтовых и геосинклинальных областей	67
В.М.Терелтьев. Энергетические факторы раз- вития континентальных рифтогенных систем (на примере Байкальской системы)	68

Ф.Я.Корытов. О динамике мезозойско-кайнозойской планетарной тектонической активизации	71
М.Н.Афанасов. Внешнее поле напряжений и подобие геологических структур	74
Г.Д.Ахгирей. Уровни локализации энергетических процессов, вызывающих эндогенные геологические явления	76
Н.К.Булкин. О возможном характере изменения современных напряжений в земной коре с глубиной	78
Г.В.Ицикзон. Вертикальная зональность типов деформаций и формирование рудоизвлекающих систем	81
Г.И.Петкевич. Поля сейсмических скоростей как индикаторы проявления нагрузок в земной коре	85
Л.М.Плотников, Г.Г.Кривич. О соотношении механизмов быстрых и медленных деформаций . .	87
Н.Е.Мартыанов. Происхождение колебательных движений	90
Н.ф.Балуховский. Внутренняя энергия вещества и ее роль в процессах тектогенеза (на примере соляного диапиризма)	92
А.Д.Дучков, Л.С.Соколова. Тепловые поля в различных тектонических зонах	95
И.С.Гольдберг. О возможной роли фильтрационных электрических полей в процессах мобилизации вещества	97
Н.И.Гельфанд. О происхождении ферромагнетизма в земной коре	100

М-38349 Подп. к печати 29/IX-72г. Печ.л.6,75 Уч.-изд.л.6,3
Тираж 600 экз. Бесплатно Заказ 1691

Тип.ИГД им.А.А.Скочинского

30r.

433