

На территории Северо-Восточной Азии, в сейсмическом поясе Черского, эпицентры всех сильных землетрясений последнего 100-летия (Булунокское, Адычанское, Артыкское), а также частых сейсмических толчков с магнитудой более 4.5 в Магаданской области приурочены к нижнекоровым максимумам  $\mu_z$ -параметра. Так же, как в Охотоморском регионе, астеносфера в поясе Черского приближается к поверхности Земли до глубины 50–60 км [3].

В Байкало-Охотском сейсмическом поясе с помощью  $\mu_z$ -моделей выявлены тектоно-магматические структуры центрального типа, объясняющие концентрическое распределение эпицентров землетрясений в Олекмо-Становой сейсмической зоне [3] и зоне влияния Мая-Селемджинского плюма (рис. 2). В первом случае концентрическое распределение эпицентров коровых землетрясений соответствует концентрическому распределению  $\mu_z$ -максимумов [3], под которыми в верхней мантии, ниже глубины 70 км, располагается астеносферная линза. В Среднем Приамурье астеносферное поднятие, приближающееся к поверхности земли до глубины 45–50 км (рис. 2, в), отражается изометричным минимумом магнитуд землетрясений в слое 30–40 км (рис. 2, а), пространственные параметры которого совпадают с контурами Мая-Селемджинского плюма (рис. 2, б).

#### Литература

1. Губанова М.А., Петрищевский А.М. Связь сейсмичности с глубинным геологическим строением Приамурья и Маньчжурии // Региональные проблемы. 2011. Т.14, № 2. С. 51–56.
2. Петрищевский А.М. Гравитационный индикатор реологических свойств тектоносферы дальневосточных окраин России // Физика Земли. 2006. № 8. С. 43–59.
3. Петрищевский А.М. Связь сейсмичности с плотностными неоднородностями литосферы Дальнего Востока России // Вулканология и сейсмология. 2007. № 6. С. 60–71.
4. Петрищевский А.М., Юшманов Ю.П. Реология и металлогения Мая-Селемджинского плюма // ДАН. 2011. Т. 440, № 2. С. 207–212.
5. Тектоносфера Тихоокеанской окраины Азии. Владивосток: ДВО РАН, 1992. 238 с.



В.А. Саньков, С.И. Шерман, К.Г. Леви  
Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

### СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА: ОБЪЕМ ПОНЯТИЯ, ВРЕМЕННОЙ ОХВАТ, КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ

Понятие «геодинамика» в настоящее время является базовым и разносторонне используется в науках о Земле. Наиболее широко оно начало распространяться после работ А. Шейдеггера и Д. Теркота [7, 10]. В настоящее время геодинамика рассматривается как отрасль геологии, изучающая силы и процессы в коре, мантии и ядре Земли, обуславливающие глубинные и поверхностные движения и трансформации масс во времени и пространстве. Детальный анализ зафиксированных в планете Земли эндогенных сил и космических внешних сил существенно отличает геодинамику от породившей ее базовой основы – геотектоники.

Детализация исследований и наших знаний, требующая анализа данных смежных дисциплин, естественным образом привела к появлению многочисленных родственных наук – своеобразных геодинамических ветвей базовой, классической геодинамики. Следствием явилось расширение понятия и области геодинамических исследований, не всегда соответствующих физическому смыслу геодинамических исследований.

Сегодня, судя только по названиям монографий и определяющих статей, геодинамика подразделяется на палеогеодинамику, современную геодинамику, инженерную геодинамику, экологическую геодинамику, вычислительную геодинамику,

гелиогеодинамику, сейсмогеодинамику, микрогеодинамику, а также другие близкие к приведенным разделы. Это отражает стремление авторов подчеркнуть специфику «своего» направления в русле единой науки по набору изучаемых явлений, их масштабу и методам исследований. Во многих случаях, особенно в экологических «ответвлениях» геодинамики, отмечается существенное отступление от физической сущности понятия динамика.

Для систематизации понятия «современная геодинамика» как науки необходимо четко определиться с конкретными ограничениями трех составляющих любого научного раздела в геологии:

1. набор и тесная (!) взаимосвязь процессов, объединяемых единым понятием;
2. пространство (площадь, глубина разреза Земли и, при необходимости, определенный надземный космический сектор);
3. временной интервал.

Последний пункт не менее важен, чем два первых. В понятие современная геодинамика многие вкладывают не временной интервал, а состояние области знания, состояние науки, ее потенциальные возможности и достижения.

В первую очередь, современная геодинамика (contemporary (present-day, up-to-date, modern) geodynamics) ограничивает время в интервалах не более сотен лет или первой тысячи лет от текущего. Об этом писал В.Е. Хаин [9], предлагая выделить актуатектонику – раздел, исследующий геодинамические процессы в текущее время. Именно в этом промежутке времени следует рассматривать процессы и их характеристики, кратко расшифрованные ниже.

Современная геодинамика изучает процессы, происходящие в твердых оболочках Земли – структурно-вещественные преобразования вещества, короткопериодные движения литосферы и/или ее самой верхней части – земной коры, их результаты, вариации напряженно-деформированного состояния, отраженные в структурных формах, проявившихся в течение первого тысячелетия или нескольких столетий тому назад и происходящие в реальное время, а также процессы, синхронно протекающие и часто генетически связанные с движениями и деформациями верхней части литосферы или земной коры. Таким образом, она имеет дело с процессами и явлениями, которые действуют и возникают на глазах человечества, в относительно реальное для современного человечества время и которые можно непосредственно измерить, изучить и попытаться прогнозировать. Этим укороченным периодом времени и возможностью мониторинга событий и процессов современная геодинамика отличается от палеогеодинамики, в рамках которой геодинамические процессы реконструируются по результатам их воздействия (структурам, вещественным комплексам). Вместе с тем современные геодинамические процессы являются неотъемлемой частью текущего геологического этапа развития Земли [4]. С этой точки зрения современная геодинамика продолжает рассматривать состояние недр, сил и процессов в планете Земля как продолжение позднекайнозойской эволюции. Принимая, что определяющим механизмом тектогенеза является мантийная конвекция, выраженная на поверхности Земли в виде движения литосферных плит с результатами их взаимодействий, представляется естественным ограничить возможное время экстраполяции данных о современных движениях и деформациях на глобальном уровне временем последней реорганизации плитных движений. Этот эпизод относят по разным данным к периоду 10–8 млн лет назад или 6–5 млн лет назад [12-15].

Оценка размеров площади и глубины воздействия важна для общего анализа современных геодинамических процессов. Литосфера – сложная внешняя оболочка Земли в том смысле, что ограничена в основании горячей вязкой астеносферой, а в кровле – слоями атмосферы и гидросферы. Литосфера в своем развитии активно взаимодействует с ними, а на граничных средах это взаимодействие во многом определяет закономерности общего современного напряженно-деформированного состояния. Закономерности

взаимодействия геосфер и оценка их геологических последствий является одним из предметов изучения современной геодинамики. Для оценки масштаба этих взаимодействий достаточно упомянуть динамическое влияние оледенений, а также известные эффекты прогибания земной поверхности при движении больших воздушных масс, а также под воздействием океанских приливов.

Именно поэтому современная геодинамика рассматривает площади от соизмеримых со всей поверхностью Земли до регионов в десятки тысяч квадратных километров; она охватывает глубины до астеносферного слоя Земли. Такие объемы литосферы обеспечивают информативность материалов для комплексного геолого-геофизического анализа в понимании пространство-время. При этом время в современной геодинамике реально, ограничено, как выше было показано, для ряда процессов сотнями лет, что допускает мониторинг и анализ короткопериодных вариаций напряжений, движений литосферных масс, вулканизма и некоторых других явлений в геологической среде. Одновременно необходимо учитывать, что на локальных участках могут фиксироваться существенные вариации мониторинговых данных, геологические последствия которых не очевидны. Их надо учитывать, анализировать и публиковать с четким акцентом на кратковременность и локальность данных. Только время в сочетании с изучаемым пространством и объемом литосферы в будущем исчислении позволит оценить, учесть или проигнорировать наблюдения с вероятными ошибками, возникшими из-за ограниченного пространства для обоснованных выводов или из-за временных вариаций локальных геофизических полей.

Наряду с внутренними силами Земли, важнейшими постоянно действующими внешними факторами современной геодинамики являются воздействия на нашу планету со стороны Солнца, Луны, планет Солнечной системы. Уровень и эффективность внешних воздействий на геодинамические процессы варьируется в широких пределах, однако их существование доказано и многие параметры изучены [1, 3, 9 и др.].

Принятые временные и пространственные критерии объема понятия «современная геодинамика» определяют и авторскую концепцию изучения этого раздела геодинамики. Литосфера Земли представляет собой разноранговую разломно-блоковую структуру, лежащую на низковязкой подвижной астеносфере и находящуюся в метастабильном состоянии. Напряженное состояние в рассматриваемых максимальных для современной геодинамики интервалах времени считается стабильным для внутриблоковых массивов, нестабильным – для деструктивных зон и межблоковых разломов. В короткопериодные интервалы времени межблоковые и внутриблоковые процессы определяются перемещениями блоков, активизациями разноранговых разрывов, а также процессами вулканизма и дегазации. В интегрированном виде они определяют современную геодинамику территорий. Ее характерные структуры и процессы превосходно картируются, могут быть обеспечены цифровыми данными, позволяющими их анализировать и прогнозировать на ближайшие десятилетия или первые столетия [2, 4, 5, 6, 11].

Существенно важны многовариантные антропогенные факторы. С одной стороны, они усиливают эффекты геодинамических процессов, с другой, наоборот, – геодинамические процессы оказывают влияние на человеческое сообщество не только в виде разнообразных катастроф, но и в виде постоянного воздействия на окружающую среду и состояние атмосферы. Известно, что менталитет населения в географически разных ландшафтных зонах существенно различен. Одни народы склонны к оседлой жизни, и их основная привязанность – сельское хозяйство. Другие – склонны к постоянным передвижениям и жестко не привязаны к локальному месту жительства [8]. Закономерности народонаселения и характерные черты менталитета людей некоторые исследователи склонны связывать с глобальными и региональными геодинамически активными зонами. К последним относят зоны глубинных разломов и прилегающих к ним территорий, геоактивные, геопатогенные и другие территории. Это позволяет говорить о

том, что современная геодинамика оказывает медленное, постоянное и существенное влияние на развитие социума.

Изложенные представления необходимо учитывать при работе над основным итоговым геологическим документом – картой современной геодинамики, характеризующей относительную стабильность или нестабильность территорий в интервалах реального времени, позволяющей определять их надежность для длительного антропогенного использования, а также отражающей современные эндогенные процессы, их активность и степень опасности, параллельно с «живыми» структурами и их потенциальной опасностью. Исходя из современных требований, карта должна отражать современную толщину деформируемого слоя литосферы и ее вариации в различных регионах, межблоковые и внутриблоковые активные разломы с векторами скоростей движений смежных блоков, тип современного напряженного состояния литосферы, сейсмические зоны и селективно активизирующиеся сейсмоактивные разломы с вероятным периодом их активизации, а также активные вулканы и другие современные динамические процессы. На карте желательно выделять регионы, суммарные показатели относительной активности которых неблагоприятны для антропогенного освоения. Данные о прогнозной характеристике современных геодинамических процессов и периодичности активизации структур в сочетании с оценками тенденций для социума – ведущая составляющая карты современной геодинамики.

Таким образом, уточнение объема понятия «современная геодинамика» будет способствовать систематизации актуальных для социума геолого-геофизических исследований, улучшению их предметной направленности, конкретизации методики исследований на стыках смежных наук.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке проекта ОНЗ РАН 7.7, РФФИ №12-05-98035-р\_сибирь\_a, 12-05-91161-ГФЕН\_a, ГК 14.790.11.0411.

#### Литература

1. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: Изд-во ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
2. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Изд-во МГТУ, 2004. 262 с.
3. Леви К.Г., Задонина Н.В., Бердникова Н.Е., Воронин В.И., Глызин А.В., Язев С.А., Баасанджав Б., Нинжбадгар С., Балжинням Б., Буддо В.Ю. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. 500-летняя хронология аномальных явлений в природе и социуме Сибири и Монголии. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. 383 с.
4. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988. 491 с.
5. Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Бызов Л.М., Дембелов М.Г., Кале Э., Девершер Ж. Растяжение в Байкальском рифте: современная кинематика пассивного рифтогенеза // ДАН. 2009. Т. 424, № 5. С. 664–668.
6. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
7. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика: Геологические приложения физики сплошных сред. М.: Мир, 1985. 376 с.
8. Трофимов В.Т., Харьковина М.А., Григорьева И.Ю. Экологическая геодинамика. М.: КДУ, 2008. 473 с.
9. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 480 с.
10. Шейдеггер А. Основы геодинамики. М.: Недра, 1987. 384 с.
11. Шерман С.И. Тектонофизическая модель сейсмической зоны: опыт разработки на примере Байкальской рифтовой системы // Физика Земли. 2009. № 11. С. 8–21.
12. Allen M.B., Jackson J., Walker R. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates // Tectonics. 2004. 23 (2). TC2008. 10.1029/2003TC001530 (DOI).
13. Cloeting S., Gradstein F.M., Kooi H., Grant A.C., Kaminsky M. Plate reorganization: a cause of rapid late Miocene subsidence and sedimentation around the North Atlantic? // Journal of the Geological Society, London. 1990. V. 147. P. 495–506.

14. Lithgow-Bertelloni C., Richards M.A. The dynamics of Cenozoic and Mesozoic plate motions // Rev. Geoph. 1998. 36. P. 27–78.

15. Wessel P., Kroenke L.W. Reconciling late Neogene Pacific absolute and relative plate motion changes // Geochem., Geophys., Geosyst. 2007. 8. Q08001, doi:10.1029/2007GC001636.

Б.П. Сибиряков<sup>1,2</sup>, Б.И. Прилоус<sup>1,2</sup>, А.В. Копейкин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

## ПРИРОДА НЕУСТОЙЧИВОСТИ БЛОЧНЫХ СРЕД И ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Характерный размер структуры означает, что имеется связь между средним расстоянием от трещины до соседней трещины или (для пористых сред) средним расстоянием от поры до поры и удельной поверхностью пор или трещин. То есть, если  $\sigma_0$  – удельная поверхность, а  $l_0$  – средний размер структуры с пористостью  $f$ , то имеет место равенство [1]:

$$\sigma_0 l_0 = 4(1-f). \quad (1)$$

Следовательно, если есть удельная поверхность образца, то тем самым автоматически определен и средний размер последнего  $l_0$ . Очевидно, что минимальное расстояние, которое задано на структуре, не может быть меньше, чем расстояние от одной частицы до соседней для зернистых сред. То же самое можно сказать относительно среднего расстояния от трещины до ближайшей соседней для трещиноватых сред. Таким образом, представительный размер структуры связан со статистическими характеристиками порового пространства.

Можно сконструировать новую модель среды с большими контрастами свойств матрицы и флюида следующим образом. Рассмотрим конечный объем пространства, ограниченный сферой радиуса  $l_0$ . Поверхностные силы приложены к поверхности, окружающей заданный объем, в то время как силы инерции приложены к центру тяжести структуры. Мы не имеем возможности взять бесконечно малый объем среды и совместить точку приложения этих сил, как в классическом континууме Коши Пуассона. Континуум со структурой выдвигает проблему совмещения точек приложения поверхностных сил, созданных напряжениями, и сил инерции. Построить уравнения движения и равновесия конечного объема мы можем, если каким-то образом перенесем силы, сосредоточенные на поверхности, окружающей объем, в центр этого объема с помощью некоторого оператора переноса. Если такая цель будет достигнута, то поровое пространство окажется заполнено некоторым силовым полем, так что реальное тело будет заменено некоторым его сплошным аналогом. Этот аналог представляет собой среду, которая уже не является телом с большой контрастностью свойств. К этому сплошному образу реального тела мы можем применять основные законы сохранения, так как здесь существуют производные, как и в обычном классическом континууме. Этот подход и есть попытка распределить материал по всем точкам пространства, но с помощью некоторых операций. В обычных моделях сплошной среды предполагается, что природа сама создала такой непрерывный образ реальной среды. Одномерный оператор переноса поля из точки  $x$  в точку  $x \pm l_0$  дается в виде символической формулы [2]:

$$u(x \pm l_0) = u(x)e^{\pm l_0 D_x}. \quad (2)$$

В этой формуле символическая переменная

$$D_x = \frac{\partial}{\partial x}. \quad (3)$$