

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

Том II

**ГЕОЛОГИЯ УРАНА,
ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

Москва
2011

УДК 504.0
ББК 26.2
Г35

Экстремальные природные явления и катастрофы : в 2 т. / Отв. ред. А.О. Глико;
ИФЗ РАН. – М. : ИФЗ РАН, 2010; 2011.

ISBN 978-5-91682-012-6

Г35 Т. 2 : Геология урана, геоэкология, гляциология / Отв. ред. В.М. Котляков, ИГ РАН;
отв. сост. А.Л. Собисевич, ИФЗ РАН; – М. : ИФЗ РАН, 2011.

ISBN 978-5-91682-014-0

Во втором томе коллективной монографии изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с изучением актуальных проблем современной геологии урановых месторождений, геоэкологии и гляциологии, имеющих целью обеспечение безопасности населения и важных промышленных объектов на территории Российской Федерации. Анализируются основные промышленно-генетические типы урановых месторождений; рассмотрены новые прогрессивные технологии добычи радиоактивных материалов; изучено поведение актинидов в условиях долгосрочного хранения и захоронения отработанного ядерного топлива. Полученные научные результаты отражают современные проблемы безопасности атомной энергетики.

Приведены новые научные данные, связанные с изучением эволюции Антарктического и арктических ледниковых покровов, от состояния которых зависит уровень Мирового океана. Достаточно внимания уделено геоэкологическим проблемам Северного Кавказа. Анализируются уникальные данные, полученные при проведении глубокого кернового бурения ледника на Западном плато вулканической постройки Эльбруса.

Изучены наиболее опасные геоэкологические процессы на территории РФ, которые могут привести к гибели людей, ранению и потере здоровья, а также к значительным материальным ущербам; разработан специальный ГИС-проект, который является готовым к использованию продуктом со всеми элементами, присущими автоматизированной информационной системе специального назначения, содержащей развернутые базы данных.

Полученные новые научные результаты и разработанные технологии уже востребованы на практике.

Для специалистов в области наук о Земле, строительства и чрезвычайных ситуаций.

УДК 504.0
ББК 26.2

The Volume II of the collective monograph presents the results of both theoretical and experimental studies of actual problems of modern geology of uranium deposits, geoecology and glaciology in order to mitigate issues on public safety and potentially hazardous industrial facilities and consequent risks on the territory of Russian Federation. Primary types of industrial uranium ore deposits are analysed, new progressive technologies of prospecting of radioactive materials are considered, the behaviour of actinides in long-time storages and nuclear waste burial sites are studied. The results obtained represent modern safety problems of nuclear power engineering.

New scientific data related to evolution of glaciers in Arctic and Antarctica governing the global level of world ocean are presented. Specific attention is paid to geoecological problems in Northern Caucasus. Genuine data gathered in the course of deep core drilling on the Western plateau of the Elbrus volcano.

Most significant hazardous geoecological processes on the territory of Russian Federation, threatening populated areas in terms of human health and injury, substantial property damage are studied. The specialized geographical information system (GIS) is the database driven product with high level of automation and it has been developed in frames of the actual research initiative.

The new fundamental scientific results obtained and the new technologies developed are of particular interest for practical applications.

The book will satisfy the needs of specialists in Earth sciences, industrial construction applications and hazard assessment.

ISBN 978-5-91682-014-0
ISBN 978-5-91682-012-6

© Российская академия наук, 2011
© Коллектив авторов, 2011

Ю.Н. Авсюк, А.Л. Собисевич

ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ – ЛУНА – СОЛНЦЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ

Учреждение Российской академии наук Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Среди широкого спектра природных явлений, являющихся объектом исследований геофизиков, обойдены вниманием некоторые наблюдаемые природные процессы. В конце прошлого века было открыто глобальное явление перемещения оси вращения в теле Земли. Сразу же после этого открытия на ряде обсерваторий была организована постоянная служба наблюдений за положением полюса [Yumi, Yokoyama, 1980]. По материалам многолетних наблюдений эмпирическим путем были установлены закономерности движения полюса, что позволило предвычислять его положение на несколько месяцев вперед.

Отметим в этой связи, что установленные эмпирическим путем периодичности изменения положения оси вращения в теле Земли равны периодам орбитального движения Земли. При этом периодичность, равная году, – это периодичность движения центра масс Земля – Луна, а не одной Земли.

Отметим еще несколько инструментально регистрируемых процессов, которые пока не привлекались к обсуждению их роли в глобальных изменениях окружающей среды и климата.

С самого начала инструментальной регистрации приливных изменений уровня океана (XVII век) был обнаружен факт 1,5-суточного запаздывания «большой» и «малой» воды.

Попытки объяснить это явление с позиций деформации дна океана не увенчались успехом.

В 1936 г. Инге Леманн первой удалось установить наличие в жидкому ядре Земли твердого внутреннего ядра радиусом примерно 1200 км. Открытие было воспринято главным образом как детализация внутреннего строения Земли. Однако в последнее время интерес к внутреннему ядру и его роли в геодинамике значительно возрос. Это произошло после обнаружения ряда аномальных явлений в структуре волновых полей Земли [Jacobs, 1995]. Было установлено, что P -волны, пересекающие внутреннее ядро по траекториям, параллельным оси вращения Земли, при-

ходят на 2 с раньше, чем те же волны, проходящие через экваториальную плоскость. Обсуждался вопрос регенерации магнитного поля Земли за счет течений в пограничных слоях на границе мантии – жидкое ядро и на границе жидкое – твердое ядро. Появились работы, рассматривающие осевое вращение внутреннего ядра, которое отличается от вращения мантии и жидкого ядра. В этой связи, проблемы регенерации магнитного поля, смена полярности, экскурсы и суперхроны, зафиксированные палеомагнитными исследованиями, требуют детального изучения течений в пограничном слое внутреннего ядра.

Сегодня геофизики вправе снова поставить вопрос, а не связан ли процесс изменения положения оси вращения в теле Земли с перемещениями внутреннего ядра. Чтобы объяснить всю совокупность известных фактов, необходимо ответить на главный вопрос: сохраняет ли внутреннее ядро неизменное положение в теле Земли, а если оно перемещается, то под действием каких сил?

Известно, что вокруг Солнца с годичной цикличностью обращается система Земля – Луна. Плоскость эклиптики – это плоскость орбиты центра масс Земля – Луна (барицентра). Гравитационное притяжение Солнца динамически уравновешено в барицентре, а не в центре Земли. Земля, так же как Луна, обращается вокруг барицентра с месячной периодичностью и, следовательно, на внутреннее ядро будет действовать переменная во времени сила.

Орбитальное движение всех планет (в том числе Земли и Солнца) астрономами изучено подробно, и все особенности их движений описаны и объяснены в рамках механики Ньютона. Анализ характеристик ускоренного орбитального движения в небесной механике принято проводить поэтапно. Первоначально рассматривается невозмущенное (кеплерово) орбитальное движение небесного тела. На следующем этапе анализируются отклонения (возмущения) реального движения от невозмущенного движения.

Реальное ускорение орбитального движения принято представлять в виде двух составных частей: невозмущенной (кеplerовой) и возмущенной.

Такое подразделение естественно вытекает из характеристик ускорения орбитального движения.

В 1747 г. Л. Эйлером была написана работа «Более точное исследование возмущений движения Земли, производимых Луною», в которой приближенная теория движения Луны позволяла с большой точностью находить возмущения в движении Земли вокруг центра масс Земля – Луна [Леонард Эйлер..., 1958].

Приливные силы вводятся в рассмотрение при изучении динамики гравитационно взаимодействующих N -материальных тел, имеющих конкретные размеры. В терминах Деламбера приливные силы – это потенциальные силы. Так как исследуемое тело имеет размер и приливная сила нагружает силы связи между частицами dt , составляющими тело, то появляются диссипативные потери энергии. Согласно определению для нахождения приливного воздействия внешних тел массой M_i на исследуемое тело необходимо знать расстояние ρ_i от тел M_i до частицы dt исследуемого тела и ускорения \bar{a}_0 центра масс исследуемого тела M_0 .

При нахождении \bar{a}_0 выявляется как кеплерова часть ускорения исследуемого тела, так и возмущение от внешних и внутренних по отношению к ней небесных тел.

В литературе по небесной механике описывается выдвинутый Овенденом принцип наименьшего взаимодействия [Ньето, 1976]. Принцип Овендена – это результат вычислительного эксперимента, который согласуется с наблюдаемыми закономерностями в Солнечной системе и в системах планет – спутники.

Проанализируем фактические материалы наблюдений, которые количественно характеризует величину момента сил N , управляющего изменением скорости осевого вращения Земли $\dot{\omega}$ и скорости орбитального движения Луны \dot{n} .

В соответствии с законами динамики положение каждой планеты может быть предвычислено на любой момент абсолютного ньютона (или эфемеридного) времени ET . Если бы Земля вращалась равномерно, шкала всемирного времени UT , исчисляемая в оборотах Земли, совпала бы с абсолютной шкалой времени ET . Но если вращение неравномерное, с некоторым ускорением, то появляется невязка между моментом, например, прохождения планеты через меридиан обсерватории, предсказанным теорией в шкале ET , и моментом, отсчитанным в шкале UT .

Современные исследования скорости вращения Земли устанавливают достаточно уверенно сезонные, 2-летние и 6-летние вариации [Приливы..., 1975; Авсюк, 1996]. Они являются индикатором динамического режима вращения структурно неоднородной Земли, в которой перераспределяется угловой момент между составляющими ее структурами.

К регистрации хода приливной эволюции в настоящее время привлекаются наблюдения за эволюцией

орбит искусственных спутников Земли. При помощи лазерной локации измеряют расстояние Земля – Луна с точностью $\pm 2,5$ м. Следовательно, за период, например, в 10 лет, может быть установлена величина «ухода» Луны со скоростью $0,6$ м·год $^{-1}$. Это не фантастика, а возможности современной измерительной техники, которые позволяют регистрировать изменения элементов орбиты Луны на два-три порядка точнее, чем традиционными оптическими методами. Изменение угловой скорости орбитального движения Луны \dot{n} оценивается величиной порядка $(22''\text{--}26'')$ Век $^{-2}$, скорость изменения расстояния Земля – Луна $\dot{r} \approx 1,10 \cdot 10^{-7}$ см·с $^{-1}$ – это фактический материал, по которому выполняется количественная оценка момента сил, управляющего ходом приливной эволюции.

Момент импульса орбитального и вращательного движений тел системы Земля – Луна (моментом осевого вращения Луны, равным $2,4 \cdot 10^{35}$ г·см 2 ·с $^{-1}$, пренебрегаем) перераспределяется между его составляющими из-за приливного момента сил N . Это перераспределение описывается соотношениями вида

$$\left. \begin{aligned} & \frac{M_1 M_2}{(M_1 + M_2)} r^2 \dot{n} + 2 \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} r n \dot{r} = N \\ & \frac{d}{dt}(C\omega) = -N \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где r – расстояние Земля – Луна; \dot{n} – угловая скорость орбитального движения Луны; C – полярный момент инерции Земли; M_1 и M_2 – массы Земли и Луны, соответственно.

Подставляя измеренные значения \dot{n} , \dot{r} , $\dot{\omega}$ в (1), оцениваем величину момента $N \approx 4,0 \cdot 10^{23}$ эрг. В этой величине присутствуют флуктуации, которые обусловлены расхождениями значений \dot{n} , \dot{r} , $\dot{\omega}$, полученных разными авторами по разным методикам. По поводу их согласования ведется дискуссия, но она не ставит под сомнение реальность регистрируемого явления, а именно то, что приливная эволюция – природный процесс, современная фаза которого поддается инструментальной регистрации.

Для экстраполяции построений схемы в прошлое и сопоставления теоретической реконструкции природных процессов, происходящих на Земле, с материалами исторической геологии надо иметь модель, реалистично отражающую ее строение и детали механизма, управляющего ходом эволюции. Познав прошлое в истории Земли, можно будет наметить развитие глобальных процессов в будущем.

Первый вариант модели объясняющей механизм, управляющий приливной силой, был предложен Кельвином и детализирован Дж.Г. Дарвином.

В модели Кельвина рассматривается однородная твердая Земля, покрытая гидросферой. Под воздействием приливной силы гидросфера принимает (в первом грубом приближении) форму эллипсоида. Большая полуось этого эллипсоида из-за трения и вследствие того, что $\omega > n$, оказывается смещенной

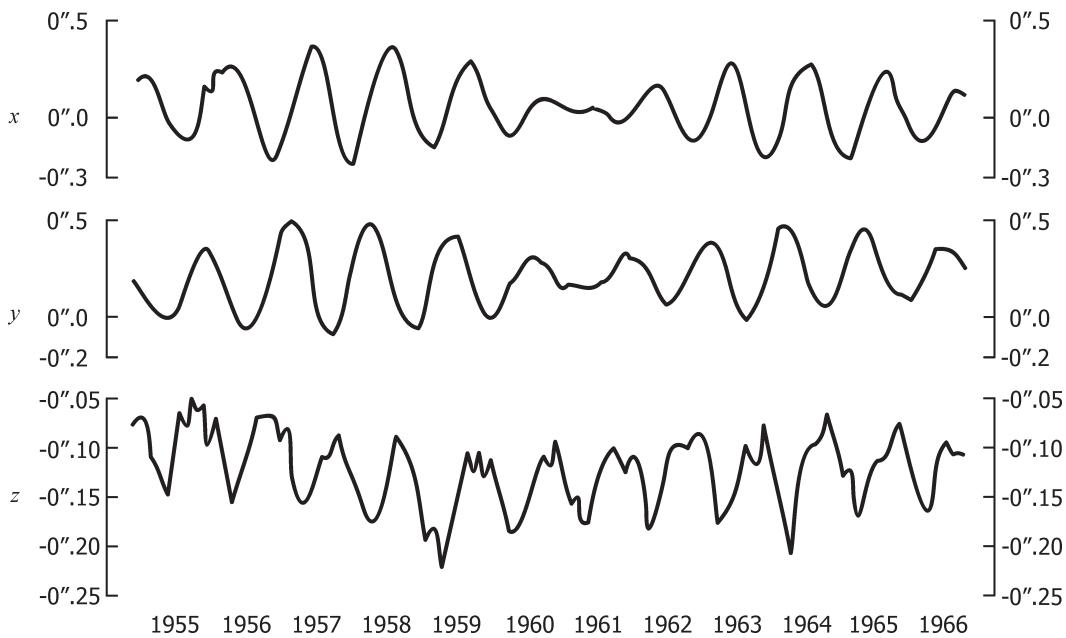


Рис. 1. Изменение координат полюса (X -, Y -, Z - компоненты) за период 1955–1966 гг.

по направлению вращения Земли на угол ε по отношению к линии, соединяющей центры Земли и Луны.

Момент сил N , тормозящий вращение Земли и ускоряющий орбитальное движение Луны, рассчитывается теоретически в соответствии со схемой взаимодействия приливной деформации с приливообразующим телом. Вывод формулы относительно несложный. Подразумевается, что высота приливной деформации H определяется отношением приливного потенциала, вычисленного по формуле Лапласа

$$V = \frac{3}{4} f \frac{M_2 R^2}{r_2^3}, \text{ к силе тяжести Земли } g \text{ и безразмер-}$$

ным числом Лява $h = \frac{2.5}{(1+19\mu/2g\rho R)}$, которое в свою

очередь связано с модулем жесткости μ , средней плотностью Земли ρ и радиусом Земли R . Так как масса этой деформации гравитационно взаимодействует с Луной, в формулу для момента входит еще раз масса Луны, расстояние Земля – Луна, радиус Земли. Окончательно имеем

$$N = \frac{9}{4} f \frac{M_2 R^5}{r^6} \left\{ \frac{\sin 2\varepsilon}{1+19\mu/2g\rho R} \right\}. \quad (2)$$

Свойства материала (в нашем случае коэффициент трения жидкости о дно океана) определяют величину угла ε . В геофизике угол ε принято выражать через добротность деформируемого материала Q как $\operatorname{tg} \varepsilon = 1:Q$, для Земли $\varepsilon \approx 2^\circ$.

Используя формулы (1) и (2), несложно в общих чертах представить ход эволюции во времени. Поскольку угол ε в данной модели знака не меняет, ход эволюции должен быть однонаправленным. Из-

менение силового воздействия также должно иметь монотонную однонаправленность. В прошлом приливные эффекты должны были быть значительными, в будущем – слабыми, современный этап – некоторое промежуточное между ними состояние. Влияние Солнца считается второстепенным и малозначащим. Главным недостатком модели является то, что она предсказывала монотонный ход развития всех изменений среды и климата. Оценки изменений скорости вращения Земли, угла наклона экватора к эклиптике по порядкам величин должны были проявиться в геологических и климатических процессах, цикличности же, которую зафиксировала историческая геология, этот вариант модели предложить не мог.

Сохраняя принципиальные положения модели приливной эволюции, уточним только структурное строение Земли и введем в описание приливной силы дополнительные члены, соответствующие возмущениям. Обратим внимание на наблюдаемые на поверхности Земли глобальные процессы, которые, на наш взгляд, помогают откорректировать модель приливной эволюции. Рассмотрим процесс изменения широт.

Процесс изменения положения оси в теле Земли регистрируется как X -, Y -, Z - компоненты изменения координат полюса (рис. 1). Они изменяются во времени с циклическими возмущенными притяжением Солнца орбитального движения Земли вокруг центра масс Земля – Луна и коррелируют с расчетными вариациями приливного воздействия на внутреннее ядро. Внутреннее ядро под действием возмущенной части приливного воздействия Солнца не сохраняет неизменного положения, оно испытывает вынужденные перемещения. Косвенными подтверждениями изменений его положения можно считать обнаруженнное сейсмологами рассогласование его вращения по отно-

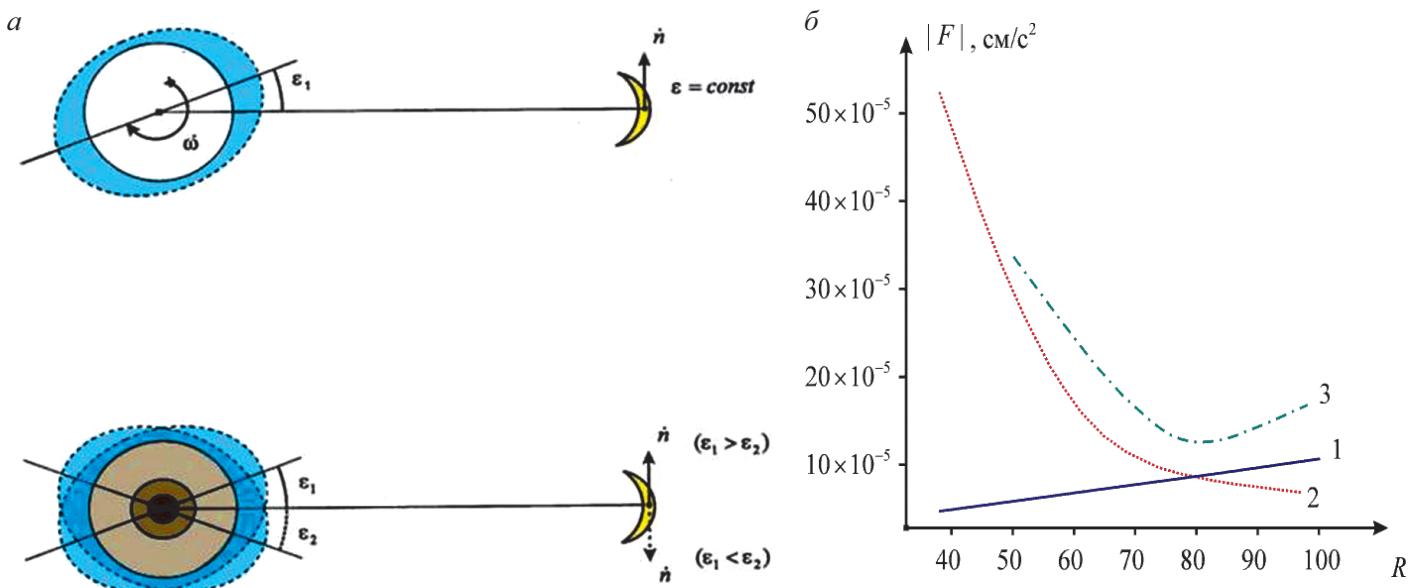


Рис. 2. Схема механизма перераспределения момента в системе Земля – Луна (*а*) и график изменения (*б*): 1 – возмущения от Солнца, 2 – невозмущенной части приливного воздействия Луны на Землю, 3 – сумма невозмущенной и возмущенной частей приливного воздействия как функция изменения расстояния между Землей и Луной в радиусах Земли.

шению к окружающей жидкости и аномалии прихода *P*-волн, пересекающих внутреннее ядро по траекториям, которые отличаются ориентацией относительно оси вращения.

По модулю действующей в центре Земли приливной силы и через коэффициент жесткости связи внутреннего ядра были оценены его статические смещения для разных расстояний Земля – Луна в диапазоне от 20 до 80 радиусов Земли и изменения силы тяжести δg на поверхности, соответствующие этим смещениям. Смещения могут достигать 3–20 м, изменение силы притяжения составляет от 20 до $100 \cdot 10^{-6}$ см·с⁻² [Авсюк, 1996]. Наши оценки совпадают с расчетами, выполненными Дж.Г. Дарвином при обсуждении механизма, объясняющего природу «*z*-члена». Изменения силы притяжения из-за смещений внутреннего ядра – величины одного порядка с приливным воздействием Луны (невозмущенная часть), т. е. эффект перемещений внутреннего ядра оказывается так же, как и прямой приливный эффект на формировании течений в гидросфере и на ее динамической фигуре (рис. 2).

При динамическом рассмотрении движения вращающегося ядра под действием вынуждающей силы закономерно ожидать фазовое запаздывание перемещений ядра по отношению к цикличности силового воздействия. Траектория движения ядра имеет систематический «уход» в направлении, перпендикулярном заданному движению (в гидродинамике это эффект Магнуса–Роббинса). Понятно, что все особенности движения ядра должны проявляться на поверхности. Запаздывание отклика приливной деформации гидросферы на 1,5 сут, в пересчете на угловое перемеще-

ние Земли и Луны вокруг барицентра, равное 18–19°, не имеет пока модельного объяснения, поэтому можно рассматривать его зависящим от вынужденных перемещений внутреннего ядра.

Следовательно, если фигура деформированной гидросферы зависит от прямого приливного воздействия и косвенного приливного эффекта, связанного с перемещением массы ядра в теле Земли, то угол ε перестает быть константой, зависящей только от добротности материала Q . Ход эволюции может быть не однородным, а колебательным, если влияющие на его знак и значение факторы с увеличением расстояния между Землей и Луной имеют противоположную тенденцию изменения.

В работе Ж.С. Ержанова и А.А. Калыбаева [1984] обращалось внимание на соблюдение баланса энергии в эволюционирующей системе планета – спутник. Диапазон «ухода – прихода» находится в зависимости от «возможностей» кинетической энергии вращения планеты, и поэтому его величина ограничена. В рассматриваемом нами варианте модели приливной эволюции энергетический баланс не нарушается.

Зная современное значение изменения кинетической энергии вращения Земли, равное $2 \cdot 10^{12}$ Вт (которое, по всей видимости, будет уточняться в пределах значения множителя от 1 до 2,5), можно оценить диапазон «прихода – ухода» Луны, приняв известным значение продолжительности цикла. В недалеком будущем по материалам светолокации Луны, по изучению \dot{n} и dr/dt можно будет непосредственно оценить полную энергию эволюционирующей системы Земля – Луна и продолжительность цикла эволюции. Но сейчас таких материалов нет, и приходится делать

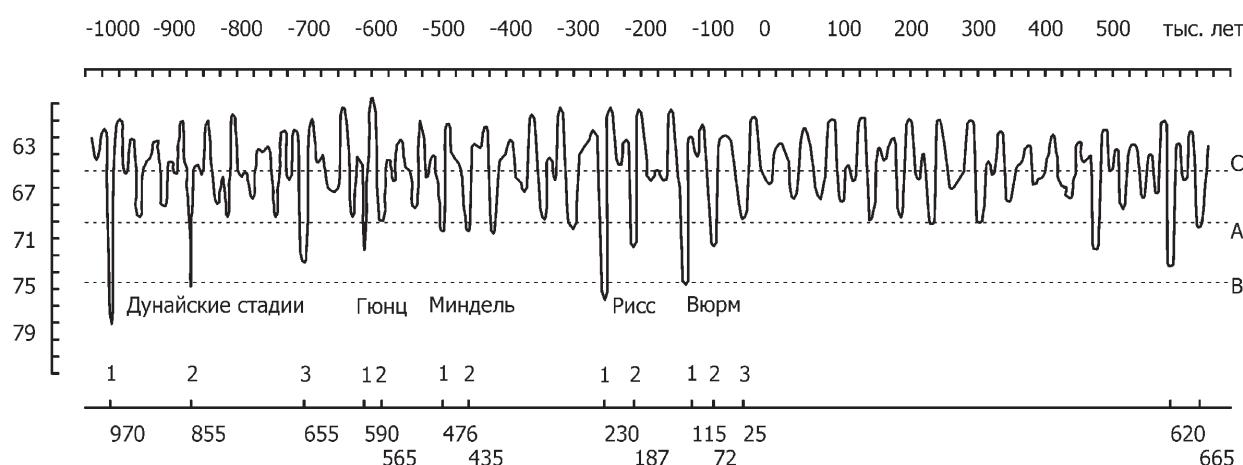


Рис. 3. Кривая инсоляции Миланковича

предположение, что известная цикличность повторения глобальных оледенений, зависящая от наклона экватора к эклиптике, может рассматриваться и как продолжительность цикла эволюции системы Земля – Луна.

Древние оледенения относятся к наиболее ярким событиям в истории Земли. Все климатологи сходятся на том, что ледниковые периоды являются экзогенными. Оледенения фиксируют узловые точки климатической истории и в общем виде воссоздают ее каркас. Поэтому изменение наклона экватора под действием притяжения Луны можно рассматривать как правдоподобное объяснение причин похолодания. В качестве ледниковых периодов климатологи рассматривают, по крайней мере, три эпохи: переход от альгонка к кембрию, от карбона к перми и четвертичный период. Продолжительность периодов, разделяющих последовательные оледенения, составляют 200–250 млн лет. Приняв это значение за продолжительность цикла и зная мощность изменения кинетической энергии вращения ($2 \cdot 10^{12}$ Вт), можно оценить диапазоны изменений расстояния Земля – Луна величиной $\pm 4R$ (при современном его значении в $60R$), угла наклона экватора к эклиптике $\pm 6^\circ$, продолжительности суток ± 10 мин времени, чему соответствует изменение центробежного ускорения порядка $\pm 10 \cdot 10^{-2} \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}$, продолжительности сидерического месяца в диапазоне 24–30 сут. Мощность перемещивания внутренним ядром окружающей его жидкости оценивается величиной порядка $(3-8) \cdot 10^{18} \text{ эрг} \cdot \text{с}^{-1}$, что соответствует необходимой мощности генератора земного магнитного поля (для поля в 0,6 Гс необходим генератор мощностью $1 \cdot 10^{15} \text{ эрг} \cdot \text{с}^{-1}$) [Busse, 1970].

Короткопериодные (продолжительностью в сотни тысяч лет) вариации климата, связанные с изменением эксцентриситета орбиты и с прецессией, рассмотрел М. Миланкович [1939] при обсуждении плейстоценовых оледенений.

Экстраполяция в прошлое и в будущее «кривой инсоляции Миланковича» была подвергнута крити-

ке. Так, М. Шварцбах [1955, с. 239] отмечал: «одно из основных возражений против «кривых радиации» состоит в том, что их можно распространить и на более отдаленные времена – третичный период и т. д., хотя тогда и не происходило соответствующих оледенений». Возражение справедливо при неизменном положении нормирующей широты (на рис. 3 – линия A). Согласно развиваемой модели приливной эволюции, нормирующая широта из-за медленного изменения наклона экватора не сохраняет неизменного значения. Это можно проиллюстрировать на рис. 3, перемещая нормирующую широту (современное положение – линия A) к югу (потепление – линия B) и к северу (похолодание – линия C). Таким образом, медленное изменение наклона экватора вследствие приливной эволюции системы Земля – Луна снимает возражение, выдвигавшееся против «короткопериодной» теории климата М. Миланковича.

Трансгрессии и регрессии моря вызывают локальные изменения климата и определяют области осадконакопления и эрозии. Приближение Луны и изменение скорости осевого вращения Земли должны вызвать сгон воды с высоких широт и поднятие уровня воды в экваториальных областях. Глобальная топография может существенно изменить ход трансгрессии или регрессии. Вода, перемещаясь к югу в соответствии с окружающей топографией, может начать вытеснять теплую воду к северу, благоприятствуя увлажнению климата высоких широт, как, например, это описано в работах, посвященных теплой биосфере [Чумаков, 1995].

Изменения положения и модуля скорости вращения Земли должны создавать изменяющиеся во времени течения на границах мантия – ядро, внешнее – внутреннее ядро, ответственные за регенерацию магнитного поля, а также влиять на напряженное состояние земной коры. На схеме эволюции (рис. 4) можно выделить временные интервалы быстрого перемещения и интервалы медленного движения оси. Первым будут соответствовать периоды активизации

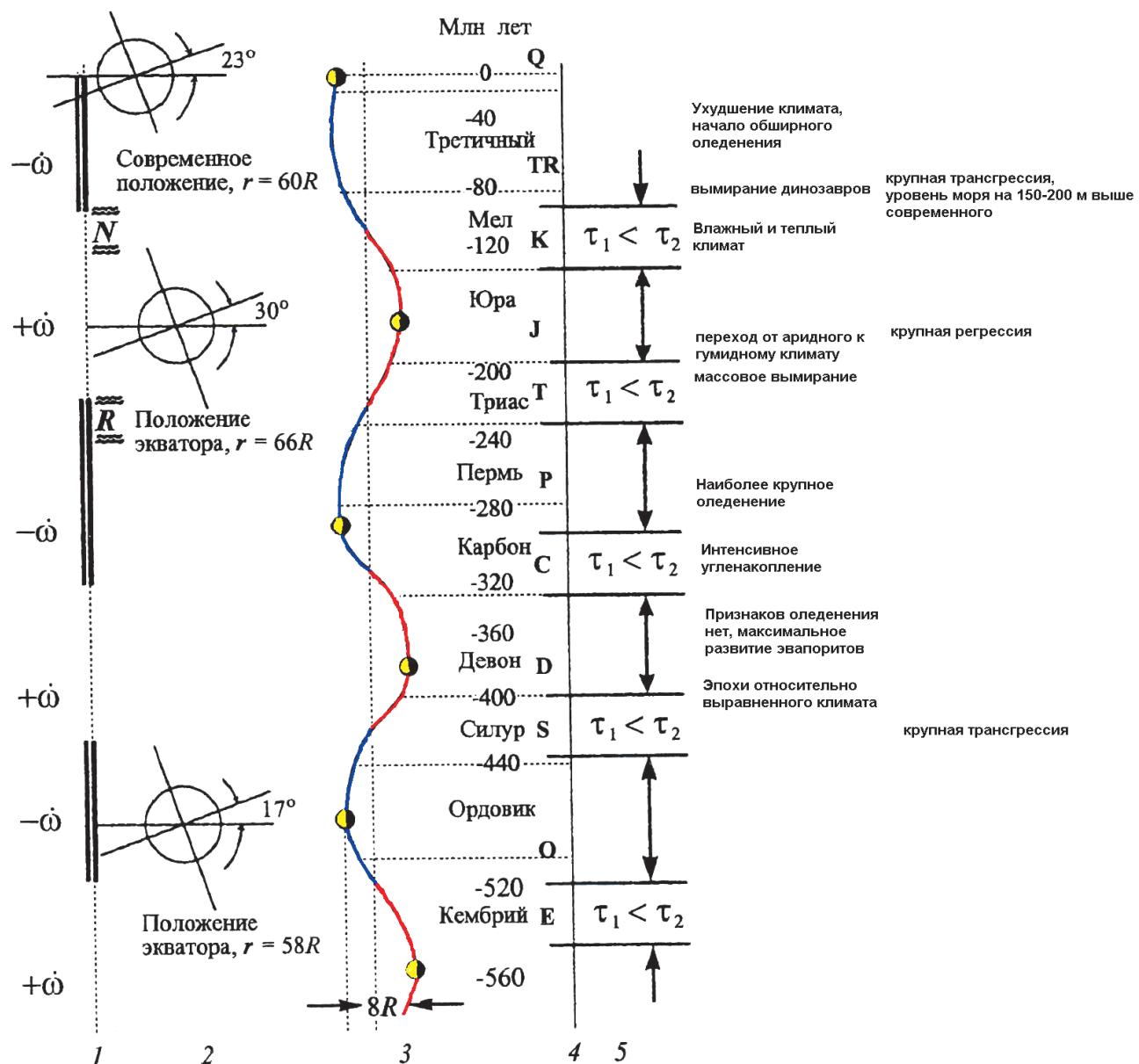


Рис. 4. Схема приливной эволюции системы Земля – Луна, совмещенная со шкалой геохронологии: 1 – интервалы ускорения и замедления вращения Земли; 2 – расположение экватора относительно эклиптики в крайних положениях эволюционной кривой; 3 – кривая хода эволюции; 4 – геохронологическая шкала; 5 – примерные границы интервалов $\tau_1 < \tau_2$, сопоставимые с циклами орогенеза

складкообразования, разрывных нарушений, вторым – интервалы времени медленной переупаковки блоков, проявляющейся в сейсмическом «потрескивании» коры. Характерное время, разделяющее периоды активного складкообразования, согласно модели эволюции, находится в пределах 40–60 млн лет. Переполюсовка магнитного поля может служить индикатором изменения режима вращения Земли.

Спутниковая альтиметрия отмечает систематическое расхождение между геоидом, проэкстраполированным из наземных наблюдений, и данными непосредствен-

ной регистрации уровня океана. По наблюдениям уровнемерных постов, расположенных в Нью-Йорке и Балтиморе, отмечается тенденция роста «годового нулевого уровня», что находится в соответствии с ожидаемой по схеме эволюции тенденцией изменения этого параметра.

Приливная сила как планетарный «вибратор резонансного типа» разрабатывает отдельные образования разломно-блоковой геофизической среды. В этом смысле она подобна вибрационному воздействию, которое с семидесятых годов прошлого столетия ис-

пользуется в методах активной сейсмологии [Алексеев, Глинский и др., 2008]. Важно при этом подчеркнуть, что приливная сила не «выключаясь» активно воздействует на геосфера Земли, работая на протяжении всего времени геологической истории планеты Земля.

Спутниковая альтиметрия отмечает систематическое расхождение между геоидом, проэкстраполированным из наземных наблюдений, и данными непосредственной регистрации уровня океана. По наблюдениям уровнемерных постов, расположенных в Нью-Йорке и Балтиморе, отмечается тенденция роста «годового нулевого уровня», что находится в соответствии с ожидаемой по схеме эволюции тенденцией изменения этого параметра.

Проведенные исследования показывают, что существуют глобальные закономерности в рассмотрении и соотношении периодичностей орбитально-вращательного движения тел Солнечной системы, в которой подсистема Земля – Луна наиболее детально изученный объект этой системы. Поэтому история его развития наряду с индивидуальными чертами должна содержать и признаки общих закономерностей, установленных планетологией.

Для конкретизации действия приливных и гравитационных сил, управляющих эволюцией системы Земля – Луна, было подробно проанализировано описание приливной силы, соответствующей случаям невозмущенного (кеплерова) и возмущенного орбитального движения. Анализ, проведенный в традициях небесной механики, показал, что полное описание приливной силы содержит члены, соответствующие возмущениям Солнцем орбитального движения Земли вокруг центра масс Земля – Луна.

Приливные силы не равны нулю в центральных областях гравитационно взаимодействующих небесных тел. Это утверждение следует из подробного анализа определения приливной силы и подтверждается материалами наблюдений за перемещениями оси вращения в теле Земли, происходящими с орбитальными периодичностями; а также материалами наблюдений за лунной сейсмичностью.

Если теперь учесть, что литосфера это иерархия разломно-блочных структур разных рангов, центры масс которых не находятся на одном уровне, то становится понятным почему крайне низкочастотное приливное воздействие вносит свой весомый вклад в динамику «переупаковки» ансамблей блоков и других единиц. Оно влияет на условия протекания различного рода геофизических процессов и сопутствующих им резонансных взаимодействий, определяет условия синхронизации движений разломно-блочных структур, содействует формированию очаговых зон в отдельных сейсмоопасных регионах планеты [Коган, Гольфанд и др., 1986; Садовский, Болховитинов и др., 1987; Авсяук, 1996; Собисевич, 2001].

Изучая собственные движения и разномасштабные колебательные процессы в слоистых неоднородных

образованиях, приходится моделировать геологическую среду, состоящую из единиц, которые содержат структурные особенностями самой различной природы и размера. В процессе проведения теоретических построений необходимо принимать во внимание, что наблюдаемые особенности разномасштабных структурных единиц (неоднородностей) геофизической среды многие годы находятся в едином ритме совместного существования (движения), несмотря на различие индивидуальных ритмов и на подчас очень слабые взаимные связи. Это фундаментальное свойство единиц, составляющих в целом нашу планету, находит свое отражение в структуре дифференциальных и интегральных уравнений, которые используются как при построении математических и феноменологических моделей различной степени сложности, так и при последующем анализе разномасштабных движений разломно-блочных и других образований в литосфере и других геосферах, включая и ядро Земли.

Итак, при изучении различных горных пород, слагающих верхнюю часть литосферы, обращает на себя внимание их неоднородность – породы сложены из разномасштабных единиц, которые зачастую отличаются по химическому составу и обладают различными физическими свойствами. Внимательное изучение структуры единиц (блоков) показывает, что они пронизаны по всему объему системами трещин. Это настолько характерная особенность реальной геологической среды, что не учитывать ее просто невозможно.

Впервые проблема, связанная с необходимостью учета блочных иерархических свойств геофизической среды, была поставлена и детально проанализирована академиком М.А. Садовским [1979] и его учениками [Садовский и др., 1982; 1983; 1987]. Было установлено, что в геологических структурах – в любом объекте некоторого масштаба ℓ – обязательно имеют место границы раздела, на которых существенно меняются свойства среды. Эти границы расчленяют объект на структурные элементы меньшего размера, которые сами подразделены на еще меньшие элементы, и т. д. Независимо от того, какой масштаб элементарного объема среды L выбран, в нем всегда можно выделить границы, разделяющие этот элемент на отдельные блоки, напряженное состояние которых может различаться столь существенно, что осреднение напряжений становится уже неэффективным [Садовский и др., 1987].

При решении динамических задач, когда рассматриваются собственные или вынужденные движения геофизической среды и действующие на нее силы меняются во времени, к чисто геометрическому условию эффективности осреднения вида $\lambda \ll L \ll \ell$ требуется добавить еще одно условие, связывающее характерное время анализируемого процесса T и выбранный характерный размер L элементарного объема, $\delta V = L^3$. Это условие вытекает из того факта, что при выводе уравнений движения сплошной

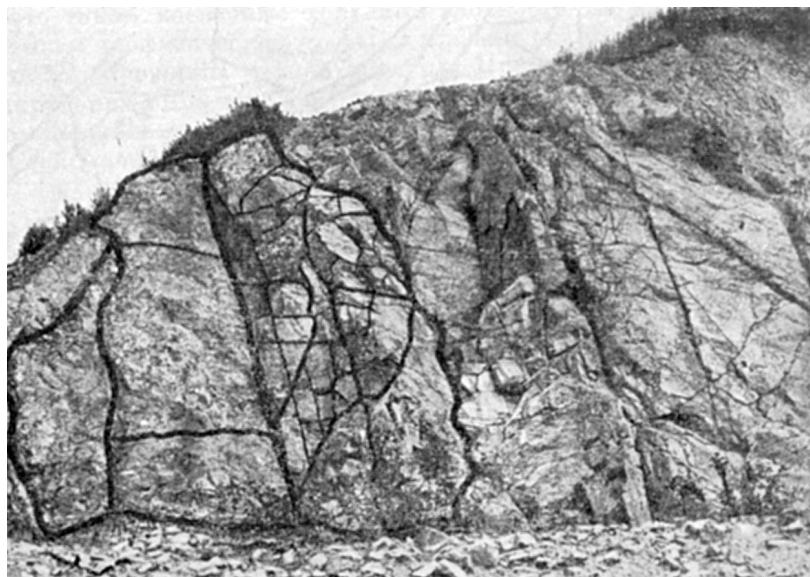


Рис. 5. Иерархическая система трещин на разрезах горной породы в карьере, на котором ведутся горные работы [Садовский и др., 1987]

среды, являющихся континуальным аналогом закона Ньютона для движения материальной точки, в неявной форме предполагается, что равнодействующая всех сил, действующих по поверхности выделенного элементарного объема δV , приложена к его центру масс. Такое допущение справедливо в той мере, в какой время τ распространения акустического возмущения по объему δV может считаться весьма малым по сравнению с T – характерным временем задачи (временем распространения акустического возмущения по всему объему V), т. е. должно быть выполнено условие $\tau \ll T$. Время τ можно оценить по скорости распространения возмущений, грубо говоря, по величине скорости звука в среде c соотношением вида $\tau \sim L/c$. Отсюда вытекает, что линейный размер элементарного объема, по которому производится осреднение свойств неоднородной в действительностии среды, должен удовлетворять неравенству вида $L/c = (\delta V)^{1/3}/c \ll T$.

Для периодического процесса с характерной круговой частотой $\omega = 2\pi/T$ условие $\tau \ll T$ принимает вид $L\omega \ll c$. Очевидно, что с повышением частоты акустического возмущения величина c/ω должна непрерывно уменьшаться, поскольку скорость звука c есть физический параметр геофизической среды, обычно слабо зависящий от выбранного размера L элементарного объема. Естественной границей снизу является средний размер неоднородности, который соизмерим с длиной волны λ , так как при $\lambda\omega \approx c$ процедура осреднения механических свойств не дает эффекта.

Иллюстрацией к приведенному выше временному условию может служить распространение упругих колебаний в геологической среде, которая содержит неоднородности самого различного масштаба: отно-

сительно низкочастотная часть наблюдаемого здесь сейсмического возмущения распространяется со скоростью звука (со скоростью продольных и поперечных волн); распространение же высокочастотных составляющих имеет более сложный характер и соответственно другую скоростную структуру. Именно поэтому теория распространения сейсмических волн, построенная на соотношениях, справедливых для однородной линейно-упругой среды, вряд ли будет способна осветить все вопросы, связанные с динамическими особенностями сейсмического процесса. Более того, применение только классических методов может в ряде случаев приводить к существенным ошибкам при оценке энергии, излучаемой таким источником, как очаг землетрясения или магматический очаг [Садовский, Писаренко и др., 1983].

Академику М.А. Садовскому и его ученикам удалось впервые показать, что при изменении линейных масштабов в очень большом диапазоне общая картина проявления блочного, дискретного строения геофизической среды остается подобной самой себе: дискретность ее строения подчиняется некоторому иерархическому закону, который всегда может быть установлен на основе реальных экспериментальных фактов. В беседах со своими учениками академик М.А. Садовский неоднократно подчеркивал, что при деформировании таких больших отдельностей, какими являются неоднородности земной коры, дискретность деформационного процесса проявляется в скачкообразных подвижках такого масштаба, что они наблюдаются как очаги мощных сейсмических событий.

Наличие процессов непрерывной перестройки собственной внутренней структуры отличает ту среду, которую называют геофизической. На рис. 5–6

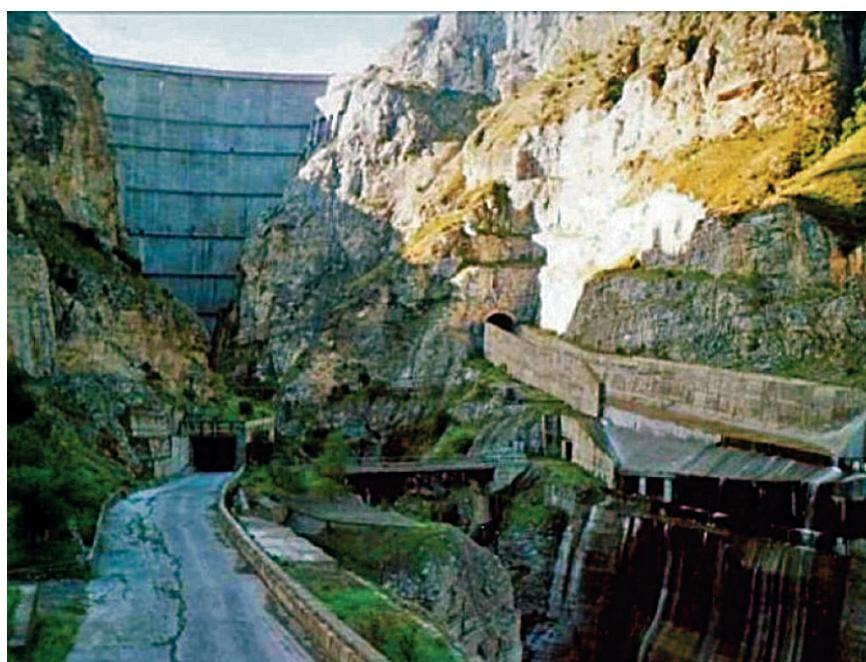


Рис. 6. Структура горного массива в районе Чиркейской ГЭС (фото А. Ивакина)

приведены фотографии типичных разрезов горной породы (такие разрезы образуются при разработке месторождений полезных ископаемых буровзрывным методом, при строительстве гидроэлектростанций в горах и т. д.).

Приведенные фотографии позволяют отчетливо просмотреть системы трещин, разбивающих городной массив на отдельности – блоки.

На рис. 7 приведена фотография части берега Черного моря в районе Голубой бухты (окрестности

города Геленджика). Здесь отчетливо выделяются отдельные слои, которые в свою очередь состоят из более мелких неоднородностей.

Аналогичные структуры мы находим и при анализе вулканических образований. В качестве примера на рис. 8 представлены разломно-блочные структуры вулканических образований в районе Эльбруса.

Все наблюдаемые трещины обнаруживают определенную геометрическую иерархическую упорядоченность: мощные трещины прорезают массивы под

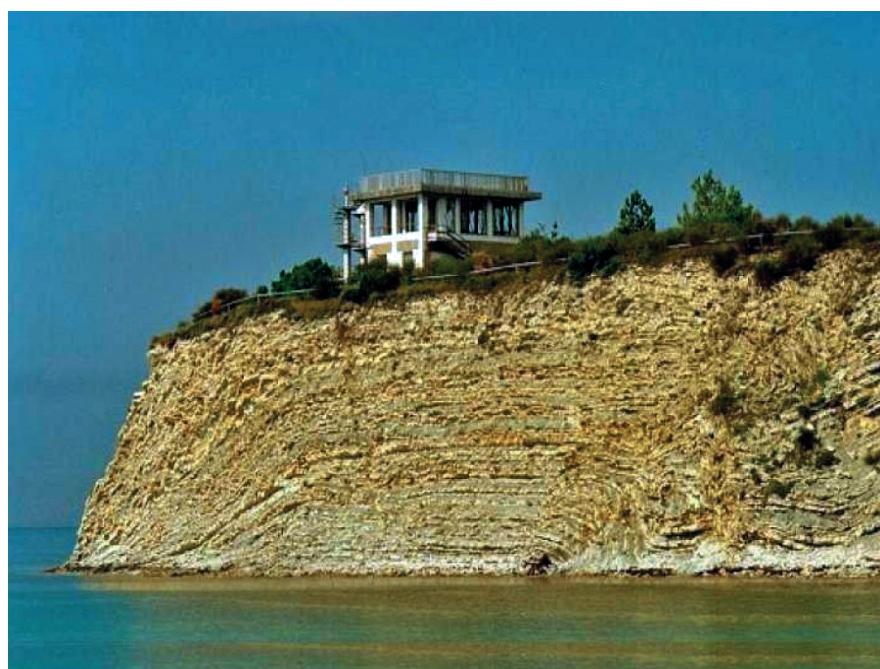


Рис. 7. Структурные особенности участка берега, отражающие разломно-блочные структуры верхних слоев горной породы (фото А. Собисевича)



Рис. 8. Вулкан Эльбрус. Верховья Кюкюртли. Верхнеплейстоценовый лавовый поток. Дациты. На переднем плане отчетливо выступает разломно-блоковая структура потока (фото Т. Тверитиновой)

некоторыми преимущественными углами, а внутри крупных отдельностей, образованных системой этих мощных трещин, выявляются более тонкие трещины, разделяющие эти крупные куски породы на ряд мелких отдельностей.

Сходную картину блочного строения проявляют и крупномасштабные образования – литосферные плиты (рис. 9).

Структурированность отдельных разномасштабных образований геофизической среды может быть охарактеризована вероятностным распределением

отдельностей по размерам относительно некоторого «предпочтительного» размера в зависимости от их физико-химических свойств, способов образования, условий залегания и строения изучаемого (выделенного) объема. Можно считать установленным, что все исследованные распределения блоков по размерам практически всегда полимодальны и характеризуются наличием чаще встречающихся отдельностей «предпочтительных» размеров [Садовский и др., 1987, 1984]. Отношение двух соседних «предпочтительных» или «преимущественных» размеров L_{i+1} и L_i близко

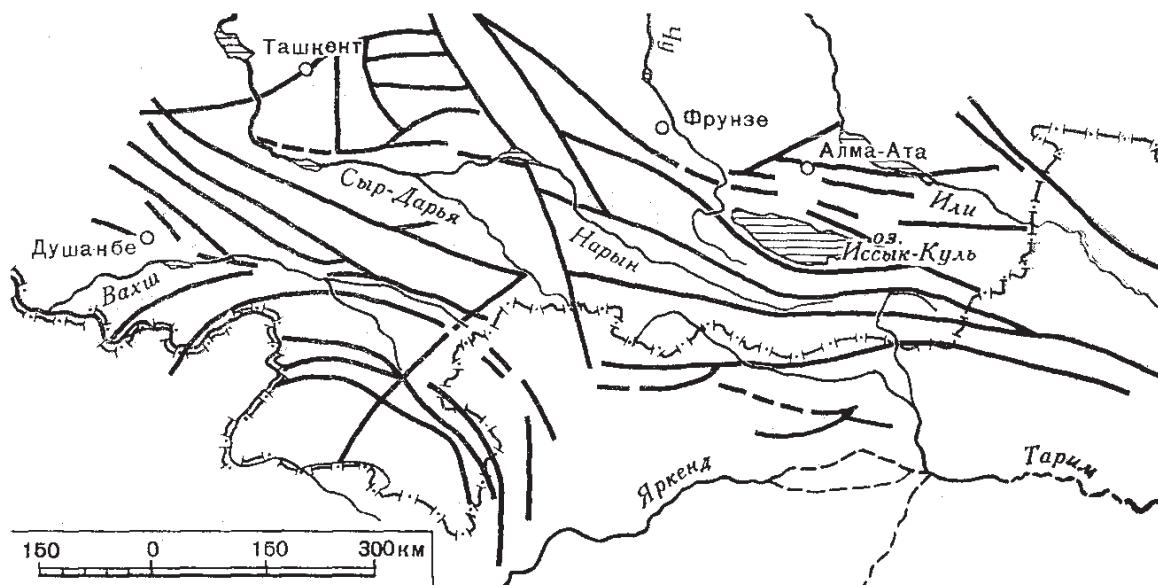


Рис. 9. Система разломов Памира и Тянь-Шаня, выделенных методами геоморфологии [Садовский и др., 1987]

к постоянству, изменяясь в пределах от 2 до 5 в диапазоне масштабов, охватывающем примерно 15 порядков величин. При этом, как оказалось, иерархическое полимодальное распределение охватывает не только структуры, встречающиеся на Земле, но и все тела Солнечной системы. Среднее значение показателя геометрической прогрессии, описывающей иерархию мод, распределения кусковатости по определению российских ученых составляет $L_{i+1}/L_i = 3,3$ [Садовский и др., 1987].

Найденную закономерность распределения характерных размеров разломно-блочных и других структур следует отнести к важнейшему свойству геофизической среды, которое лежит в основе самоорганизации, приспособлению ансамблей отдельностей к эффективной диссипации и трансформации энергии, поступающей в литосферу. Такая система способна обмениваться энергией и массой как внутри себя, между составляющими ее блоками, так и с внешним миром.

При этом основной механизм самоорганизации связан с тем, что блоки, достигшие предела энергетической прочности, теряя устойчивость, в процессе резонансных взаимодействий сбрасывают избыток энергии в волновом виде (в основном в результате генерации, излучения и переизлучения тепловой, электромагнитной и сейсмической энергии) и либо консолидируются в новые системы, меняя конфигурацию резонансных отдельностей, либо разрушаются, образуя новые разломно-блочные структуры.

Важно отметить, что такие процессы сопровождаются генерацией акустических, магнитных и других геофизических полей, которые в ряде случаев могут являться предвестниками катастрофических событий.

Современные представления о геофизической среде, как об открытой диссипативной системе, способной к самоорганизации, согласуются со многими известными из эксперимента природными явлениями. Освобождение упругой энергии в разломно-блочной среде происходит в момент преодоления сил трения именно в местах взаимных контактов отдельных блоков, которые и составляют зону подготовки будущей сейсмической катастрофы (землетрясения). Есть все основания полагать, что здесь основная роль должна быть отведена резонансным особенностям геологической среды в месте подготовки и развития сейсмического события [см., например, Садовский и др., 1987; Авсюк, 1996]. При этом определяющая роль в отмеченных процессах отводится структурам дилатанского типа [Алексеев, Глинский и др., 2008]. Их резонансные особенности проявляются отчетливо на этапах подготовки и развития сильных землетрясений [Собисевич, Канониди и др., 2008, 2009, 2010]. Многолетние наблюдения геомагнитных возмущений перед разномасштабными сейсмическими событиями, зафиксированные аппаратурными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН, созданной по инициативе и при поддержке академика Н.П. Лаверова, подтверждают сказанное. Анализ

полученных здесь экспериментальных наблюдений вариаций магнитного поля Земли подтвердил, что в структуре электромагнитных сигналов удается выделить характерные квазигармонические ультразвуковые частотные (УНЧ) волновые формы, предшествующие сейсмическим событиям. В качестве примера приведем данные регистрации катастрофического (магнитуда 9,1) Суматро-Адаманского землетрясения, которое произошло на западном побережье Северной Суматры 26.12.2004 года. Полученные магнитограммы приведены на рис. 10, вставка 1. Аномальные УНЧ геомагнитные возмущения, предваряющие сейсмический удар, выделены на записях магнитовариационной станции, начиная с 14 ч 40 мин 24.12.2004 г. (время мировое).

В приведенных записях составляющих вариаций магнитного поля Земли (H , D , Z) и наклонов (EW) земной поверхности на этапах подготовки и развития анализируемого сейсмического процесса проявляется несколько выраженных аномальных УНЧ геомагнитных пульсаций (возмущений), которые можно классифицировать как краткосрочные предвестники сильного цунамигенного землетрясения. На рис. 10, серым цветом выделены два наиболее характерных временных интервала, где проявились возмущения-предвестники этого события.

Рассмотрим более детально волновые формы аномальной УНЧ геомагнитной пульсации (возмущения), которая развивалась, начиная от 23 ч 58 мин 24.12.2004 г. до 00 ч 23 мин 25.12.2004 г. (рис. 10, вставка 2). Волновые формы аномального УНЧ геомагнитного возмущения, предваряющего непосредственно сейсмический удар, приведены на рис. 10, вставка 3.

Характеризуя процесс зарождения и развития возмущений-«предвестников», отметим, что амплитуда «квазистатического» сигнала колебалась в пределах 0,5–1,2 нТл, а период изменялся в диапазоне от 1 до 2 минут. С учетом удаления Северокавказской обсерватории от эпицентральной зоны представляется возможным ориентировочно оценить амплитуду возмущения в области развития сейсмического процесса величиной 5–12 нТл.

Волновые формы, полученные после фильтрации возмущения в диапазоне периодов 18–30 с, представлены на рис. 12, где отражена тонкая структура УНЧ аномального геомагнитного возмущения, отражающая волновую природу развивающегося сейсмического процесса, связанного с генерацией токовых систем в районе будущей эпицентральной зоны. Источником поля при этом могут выступать образования дилатанского типа, в которых произошло разделение электростатических зарядов на этапе их деформирования в процессе развития катастрофического сейсмического процесса [Собисевич, Канониди и др., 2009].

Сопоставление приведенных квазипериодических сигналов с данными наблюдений, которые были получены перед другими событиями, показывают, что наблюдаемые квазигармонические волновые формы

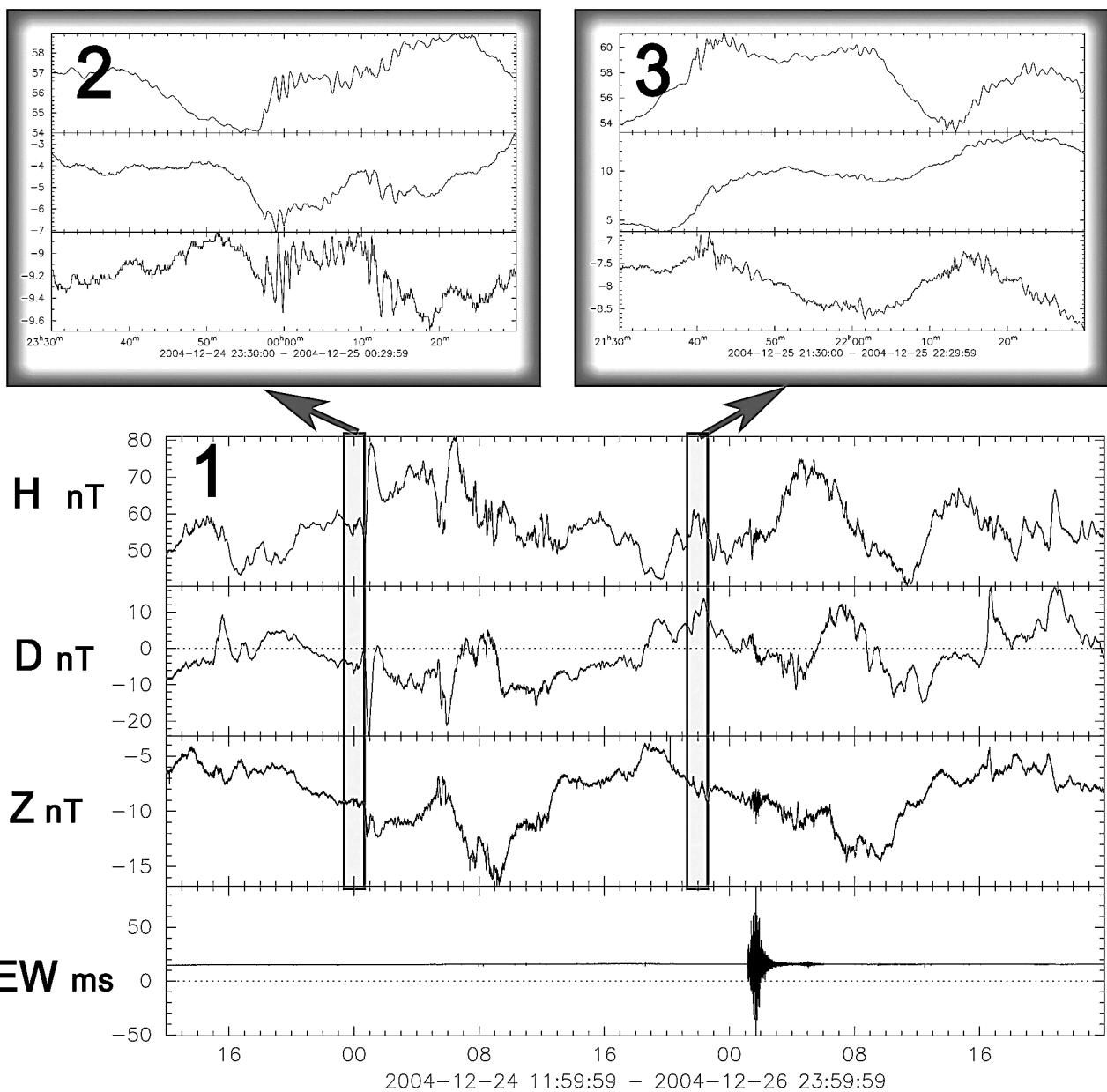


Рис. 10. Запись вариаций магнитного поля и наклонов земной поверхности на этапах подготовки и развития землетрясения в районе Суматры 26.12.2004 г. На вставках 2 и 3 развернутые волновые формы

специфичны для каждого отдельно взятого региона Земли.

Таким образом, любая геологическая среда (сейсмогенерирующая геологическая структура, вулканическое образование или магматический очаг) всегда находится в механически неравновесном состоянии и непрерывно получает и диссирирует механическую и другие виды энергии. Обмен энергией между частями, или, лучше сказать, структурными элементами изучаемого объема геологической среды, определяет состояние отдельностей, особенно в случае, когда встречаются ярко выраженные флюидно-магматические образования – зоны дилатансии, которые связывают с активизацией сейсми-

ческого режима и другими процессами в литосфере [Николаевский, 1982; Алексеев и др., 1996; Собисевич, 2001]. В результате развития разномасштабных тектонических силовых взаимодействий в литосфере сейсмоактивных регионов, в том числе и под влиянием приливов, возникают области высокой концентрации напряжений, приводящие к локальным реологическим перестройкам и формированию аномальных зон и как следствие – вариаций геофизических полей.

Блоки земной коры под воздействием приливной силы могут смещаться друг относительно друга, создавая в каждом блоке ансамбля напряжения изгиба и кручения. Если пользоваться геоморфологической

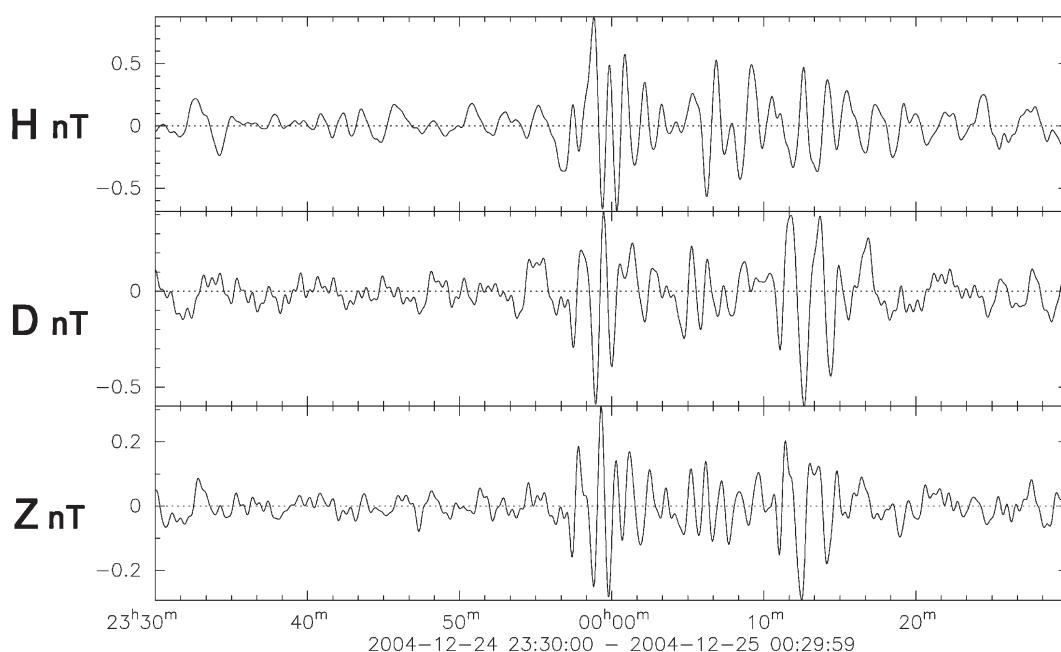


Рис. 11. Тонкая структура сигнала, отражающего квазипериодическое геомагнитное возмущение, возникшее за сутки перед цунамигенным Суматро-Адаманским землетрясением

терминологией, то концентрация напряжений происходит по линеаментам, главным образом – в морфоструктурных узлах. Накапливающееся в блоках напряжение постепенно достигает величины, близкой к предельному напряжению, при котором равновесие в ансамбле становится неустойчивым. Срыв и переход одного из блоков в новое равновесное состояние влечет за собой высвобождение и перераспределение потоков механической и других видов энергии. Все эти перестройки происходят на фоне непрекращающегося приливного воздействия, которое постоянно подкачивает упругую энергию изгиба и кручения в рассматриваемую систему блоков.

Сезонность сейсмической активности – термин, вызывающий ассоциацию с временами года: солнечным теплом, циркуляцией атмосферы – должен учитывать вышесказанное, так как эти процессы могут быть связаны через внешнее воздействие с сейсмической активностью. Представление перепада напряжений в приливной волне, связанного с триггерным сейсмическим откликом напряженной среды, нуждается в уточнении. По всей видимости, блочная среда откликается на асимметричную часть приливного воздействия, которая из-за нескомпенсированности растяжения и сжатия в каждом цикле провоцирует начало медленного течения, завершающегося убыстрением роста необратимых деформаций и сейсмическим ударом.

Во второй половине XX столетия были получены важные научные результаты, которые позволили связать наблюдаемую дегазацию Земли с динамическими процессами, протекающими в геосферах.

В начале 60-х годов советским геохимиком А.И. Кравцовым и его сотрудниками было обнару-

жено, что химический состав природных газов и интенсивность их поступления в скважины, пересекающие тектонические разломы, отличается устойчивой периодичностью. Расширяя исследования, ученые

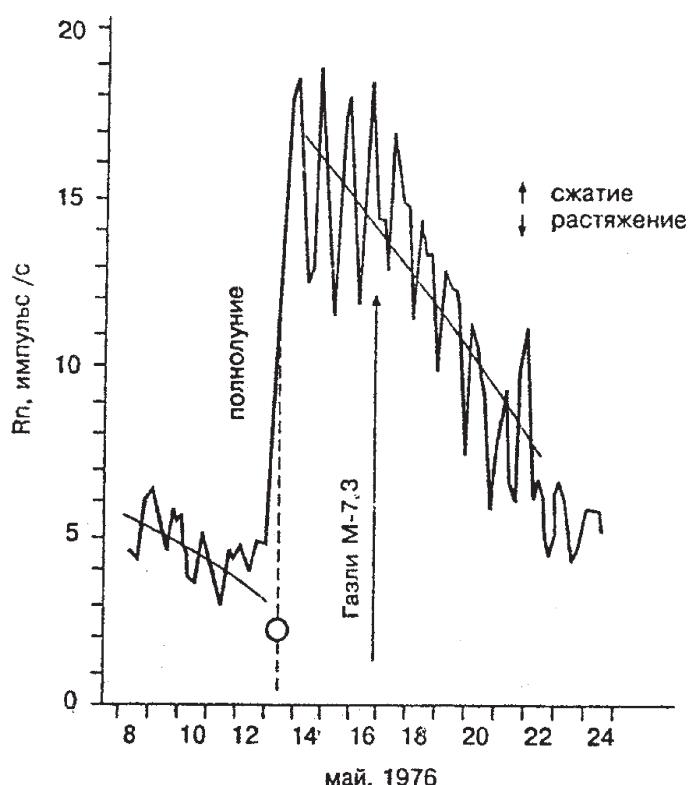


Рис. 12. Зарегистрированный ход изменения концентрации радона до и после землетрясения в Газли [Газлийское землетрясение..., 1984]

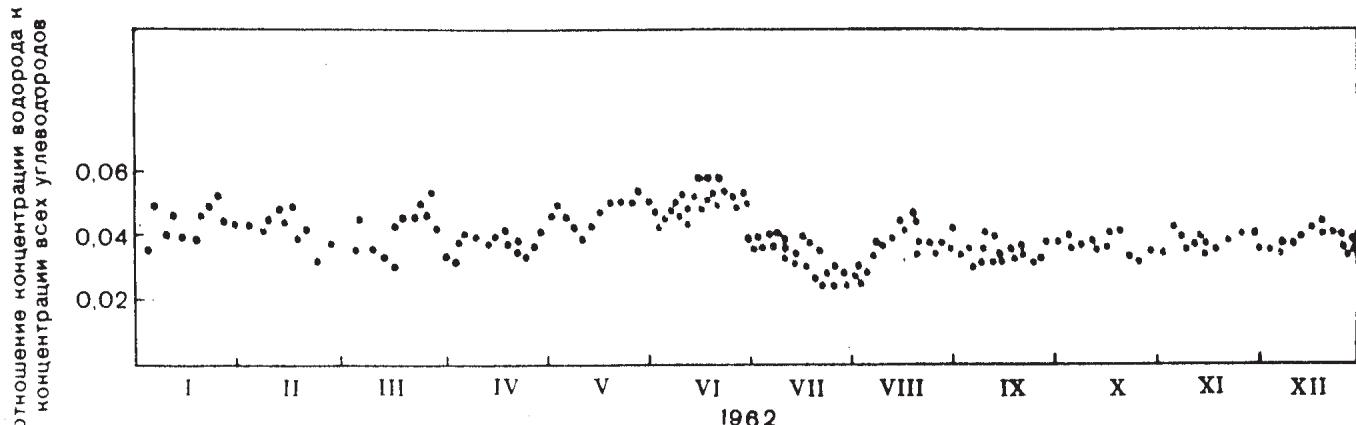


Рис. 13. Вариации отношения водорода к сумме углеводородов в струях природных газов, вскрытых в 1962 г. горными выработками в Хибинах. При анализе данных выделяются ритмичные колебания, имеющие периоды 9 и 14 суток, практически совпадающие с гармониками лунных приливов с периодами 9,1 и 13,7 суток

пришли к выводу, что эти газы, преимущественно углеводородные с высоким содержанием гелия, и водорода поступают с больших глубин.

Оценки плотности потоков газов с площади Хибинского массива и окружающих эти горы областей распространения пород архейского и протерозойского возраста, в основу которых были положены данные известного геохимика И.А. Петерсилье, и дополнительные исследования, выполненные Н.И. Хитаровым и Г.И. Войтовым в горных выработках Хибин, показали, что на поверхность они выходят весьма неравномерно (рис. 13). Если для щитов характерны незначительные потоки газов, то с площади собственно Хибин выделяется большое количество углеводородов, водорода, гелия и других газов. Наибольших величин плотность газовых потоков достигает в зонах тектонических разломов.

Учитывая, что природные газы с площади Хибинского массива поступают в атмосферу Земли в течение продолжительного периода, ученые высказали предположение, что газов в породах собственно Хибинского массива явно недостаточно, чтобы обеспечить наблюдаемый поток, средняя интенсивность которого не уменьшается со временем. Для его поддержания необходимы глубинные источники. А раз так, то эти процессы должны в определенной степени определяться наличием во всех геосферах динамических процессов, определяемых действием приливных и гравитационных сил, управляющих эволюцией системы Земля – Луна [Войтов, Голубев и др., 1982; Николаев, Войтов и др., 1994].

Наблюдения за изменением химического состава и интенсивностью движения газов по зонам отдельных тектонических разломов в горные выработки рудников Хибин, продолжавшиеся в период с 1961 по 1975 г., показали, что отдельные компоненты газовых эманаций испытывают квазигармоничные колебания.

Последнее утверждение относится в известной мере даже к изотопному составу углерода в метане газовых струй. Во всяком случае, вариации величины отношения тяжелого изотопа углерода ^{13}C к легкому ^{12}C в метане из проб одной и той же струи природных газов, отобранных в разные годы, достигали существенно больших величин, чем погрешности стандартного изотопного анализа углерода. Это означает, что по одним и тем же каналам на поверхность поступают газы от различных глубинных источников, имеющие различный химический (а в ряде случаев и изотопный) состав и меняющуюся во времени интенсивность, или что условия (в первую очередь – давление и температура) образования газов периодически изменяются. Помимо этого, полученные результаты дают основания утверждать, что наиболее заметно в составе газов изменяется содержание водорода – самого подвижного компонента наблюдаемых газовых смесей [Хитаров, Войтов, 1982].

Работы, связанные с изучением влияния динамических процессов в геосферах на флюидную активность Земли были продолжены в одном из наиболее тектонически активных районов Кавказского региона – в пределах Дагестанского клина известными российскими геохимиками А.И. Тугариновым и С.С. Сардаровым (рис. 14).

Основное внимание в своих исследованиях они уделили некоторым особенностям, которые присущи вариациям гелия и аргона. В результате проведенных исследований были выделены трехчасовые, полусуточные и суточные колебания интенсивности потока гелия и аргона в атмосферу Земли. Было также отмечено заметное повышение плотности потока газов в периоды новолуний и полнолуний.

Еще одно доказательство существования периодических особенностей в процессе разгрузки флюидов и летучих, обусловленных приливами в земной коре,

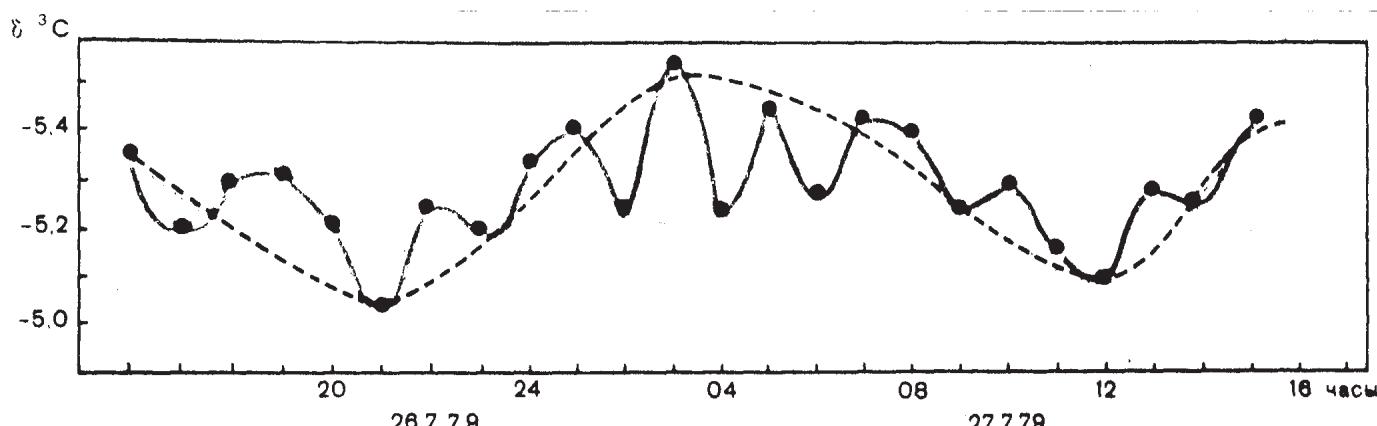


Рис. 14. Суточный ход изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}$ метана в газах из разведочной скважины, пробуренной в пределах Дагестанского клина. Вариации изотопного состава углерода метана являются, с одной стороны, свидетельством чрезвычайно широкого интервала дегазирующихся глубин литосферы, а с другой – темпов поступления газов к области разгрузки [Хитаров, Войтов, 1982]

было найдено при анализе повторяемости внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах. Оказалось, что наибольшее относительное число внезапных выбросов угля и газа произошло в период новолуния и полнолуния (в сизигиях). Отношение числа внезапных выбросов, произошедших в шестисуточный период, примыкающий к сизигиям Луны, к числу выбросов за такой же период, примыкающий к ее квадратурам (первая и последняя четверть), составило 10 или более к 1. Это вполне представительная статистика, говорящая о несомненной связи внезапных выбросов угля и газа в шахтах с твердыми приливами в земной коре (рис. 15) [Хитаров, Войтов, 1982; Войтов, Голубев и др., 1982].

Характеризуя затронутую проблему, остановимся на некоторых особенностях наблюдаемого флюидного режима. Здесь, прежде всего, необходимо ответить на вопрос: какова та глубина, на которой поток флюидов все еще испытывает возмущение, обусловленное приливами в земной коре?

Опыты, поставленные в Хибинах, показывают, что разгрузка газов идет здесь примерно с двухнедельным периодом, несмотря на то, что область их генерации расположена на больших глубинах, в зонах больших температур и давлений. По-видимому, здесь разрывные нарушения являются сквозными и расстояние, от места генерации до области стока, газы проходят сравнительно быстро, во всяком случае, за время, мало отличающееся от периода, который связывают с наблюдаемыми псевдоволновыми процессами дегазации.

В более благоприятных условиях, с которыми приходится встречаться в Дагестане (где проницаемость геологической среды более высокая), проявляются даже внутрисуточные ритмы. Решающими аргументами при суждении о возможной глубине, на которой образуются газы, во всех случаях является их изотопный состав.

Так, например, для газов многих районов мира, относящихся к зонам альпийской складчатости, характерны чрезвычайно высокие отношения изотопов аргона $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$, часто в 10 и более раз превышающие их величину в атмосфере Земли. В большинстве газов газовых и нефтяных месторождений мира, повышенны отношения изотопов гелия, углерод углекислого газа обогащен тяжелым изотопом ^{13}C и т. д. Этими характерными особенностями обладают газы грязевых вулканов побережья Каспийского, Черного, Азовского морей, о-ва Сахалин, Йеллоустонского парка в Калифорнии и других районов Земли.

Важным аргументом, подтверждающим, что метан и другие летучие выносятся с больших глубин и трансформируются в процессе движения через геосферы Земли, служат данные изотопного состава угле-

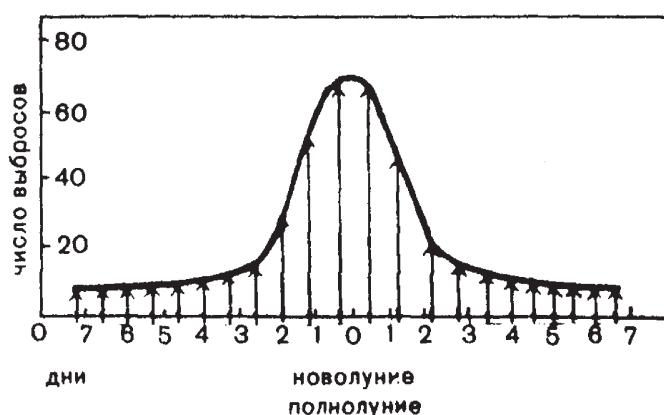


Рис. 15. Распределение внезапных выбросов угля и газа, произошедших в 1947–1963 гг. на шахтах угольного бассейна. Наибольшее количество внезапных выбросов угля и газа происходит в шестидневном интервале, примыкающем к новолунию и полнолунию (первая и последняя четверть) [Хитаров, Войтов, 1982]

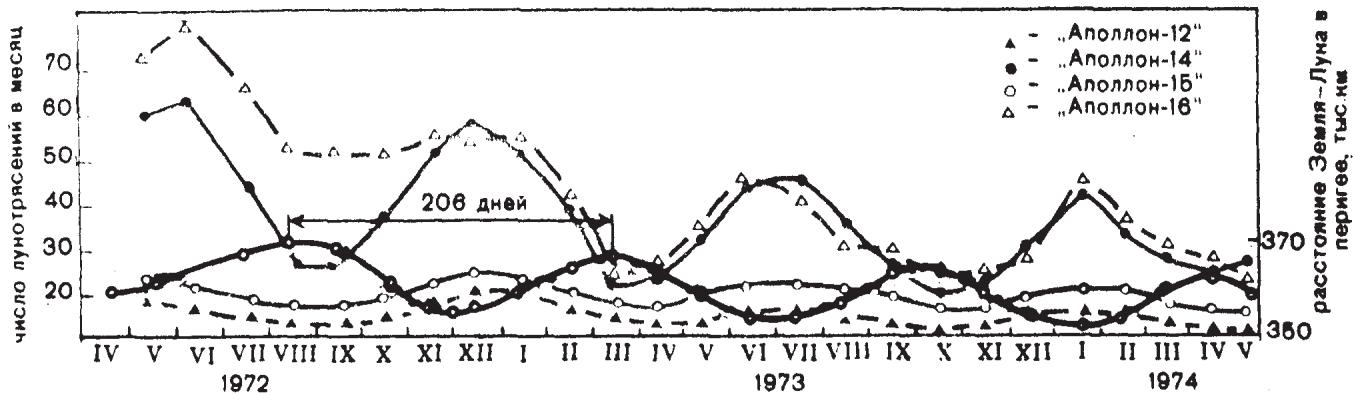


Рис. 16. Зависимость числа лунотрясений от расстояния между Луной и Землей в перигее. Экспериментальные материалы получены сейсмографами, установленными в различных частях Луны экспедициями «Аполлон» № 12, 14, 15 и 16. Наблюдается четко выраженная периодичность числа лунотрясений в зависимости от расстояния Луны от Земли в перигеях; период составляет 206 земных суток, т. е. время обращения перигея Луны [Галкин, 1978]

рода, окиси углерода в атмосфере Земли, источником которой в настоящее время принято считать метан, разрушаемый в атмосфере действием свободных радикалов гидроксила и квантами солнечной радиации. По многочисленным масс-спектрометрическим измерениям, изотопный состав углерода, окиси углерода в атмосфере Земли в удалении от мест антропогенных выбросов углеродистых газов даже более тяжелый, чем изотопный состав углерода метана средней пробы газа газовых месторождений; т. е. по изотопным данным – это продукт высокотемпературных (сотни градусов) реакций в литосфере Земли.

Таковы аргументы в пользу того, что приливы в земной коре не только инициируют, но и во многом определяют структуру восходящего потока природных газов на достаточно больших глубинах и осуществляют модуляцию процесса истечения, придавая ему псевдоволновой характер.

С подобными явлениями ученые встретились и на Луне. Полный оборот вокруг собственной оси Луна делает за 27,3 земных суток. В соответствии с этим находятся и основные параметры волновых процессов в коре Луны. Поскольку Луна, как и Земля, не абсолютно жесткая, наведенные волновые движения реализуются в виде многочисленных слабых лунотрясений, очаги которых в большинстве случаев (более 85 %) находятся в интервале глубин 600–800 км, на границе жесткой литосферы и пластичного вещества недр Луны. Их распределение во времени находится в строгом соответствии с приливным циклом: число лунотрясений в единицу времени возрастает строго через каждые 13, 27 и 206 земных суток (рис. 16).

Поскольку приливные напряжения концентрируются на контактах жесткой холодной литосферы и разогретой пластичной астеносфере Луны (а такая, как это было установлено в процессе исследований, на Луне имеется), разогретые флюиды последней как

бы «впрыскиваются» в ослабленные зоны холодной литосферы, облегчая последующие импульсные движения ее отдельных жестких блоков. То есть на Луне действует тот же механизм дегазации недр, что и на Земле, под влиянием сил гравитации Луны. Проявлением этого механизма на поверхности Луны, по-видимому, обязаны «быстроходные» события. Среди них – истечение из недр Луны аргона с периодом 206 суток, спектрально установленные линии углерода C_2 в кратере Альфонс, высокие температуры в кратере Тихо (на 100° выше температуры окружающей местности), возникновение и исчезновение темных пятен на поверхности Луны, изменение блеска отдельных участков ее поверхности и другие. Число таких событий за время наблюдений уже составляет порядка 400 (в том числе – 210 в XX веке).

Существование более 20 из них за последние годы прошлого века было доказано инструментально в кратерах Манилиус, Атлас, Плато, Шевольер, Прокл, Геркулес и других. Статистическое изучение событий, выполненное сотрудникой Лунного института в Хьюстоне (США) Б. Миддлхорст, показало, что в их календаре имеется заметный пик в перигее Луны и менее заметный – в апогее.

Мы все еще очень слабо представляем себе астрономическую историю системы Земля – Луна. Однако почти несомненно, что современное равенство лунных суток времени обращения нашего спутника вокруг центра масс Земля – Луна есть интегральный эффект накопления и релаксации упругих деформаций в лунной литосфере, возникающих вследствие воздействия сил гравитации Земли на Луну и возмущений Солнцем их месячного движения.

По-видимому, на ранних этапах истории системы длина лунных суток была существенно меньше, и они не равнялись времени обращения Луны вокруг Земли, как, по-видимому, и меньше было расстояние между Землей и Луной. То есть приливные эффекты

в лунной коре были неизмеримо более высокие, нежели те, которые наблюдаются на современном этапе развития системы.

Соответственно, темпы дегазации литосферы Луны под действием сил гравитации Земли в прошлом должны были быть существенно выше. Мы не видим следов дегазации в виде плотной атмосферы на Луне, поскольку летучие, не удерживаемые в поле гравитации Луны, поступали непосредственно в космический вакуум. По-видимому, именно этими причинами в основном обусловлена чрезвычайно высокая степень дегазации пород литосферы Луны, обнаруженная в процессе изучения лунных образцов.

То, что именно такая модель глубокой дегазации литосферы Луны наиболее близка к истинной, демонстрируется современным процессом дегазации Ио (ее вулканизмом) – одного из наиболее крупных спутников Юпитера – эффект которой обнаружен и неоднократно отснят и передан на Землю космическим зондом «Вояджер», пролетевшим в окрестностях Ио весной 1979 года. Специалисты, анализировавшие снимки, утверждают, что современный вулканизм Ио – это рассеяние энергии приливного трения, реализуемое в его литосфере, накапливающейся под влиянием мощных сил гравитации Юпитера. По-видимому, глубокой дегазацией, в немалой степени, обусловленной приливами в его литосфере, характеризуется вещество Меркурия – планеты наиболее близкой к центральной звезде Солнечной системы.

Рассмотрим теперь некоторые эффекты, которые должны иметь место на Земле при прохождении приливных волн в ее литосфере. Многие из них пока не находят объяснений с позиций существующих представлений о строении Земли и процессах, протекающих во всех ее геосферах.

Обратим вначале внимание на процессы, приводящие к скоплениям природных газов в коллекторах [Хитаров, Войтов, 1982; Войтов, Голубев и др., 1982]. Их источником принято считать диффузно-рассеянные газы в газогенерирующих породах геологической среды. Довольно трудно представить себе процесс мобилизации этих газов из продукцирующих толщ их концентрации в отдельных ловушках, и затем стягивание в единое скопление (газовое месторождение). В этой связи даже малые по величине ритмичные изменения давления и температуры в породах литосферы под влиянием лунно-солнечных приливов, регулярные на протяжении геологической истории в объеме литосферы, где имеют место газопродуцирующие разломно-блочные структуры, могут служить одной из основных причин, которая порождает механизмы переводящие газ из сорбированного в свободное (подвижное) состояние. Периодическое изменение количества газа в свободном состоянии внутри пор, микро- и макротрешин, каверн и других дефектов, нарушающих сплошность среды, как следствие уменьшения в них давления при прохождении приливной волны, может стимулировать импульсивное (скачкообразное) перемещение газа в область

разгрузки, служить причиной многих реакций, протекающих во вмещающих структурах.

По-видимому, подобный механизм может быть применен к перемещению флюидов в пористых геологических средах в применении к сбору рассеянной проптонефти в ловушках на различных глубинах. Есть все основания утверждать, что необходимым условием для движения нефти по коллекторам является требование превышения угла наклона покрышки (по мнению И.М. Губкина – это 1/6 градуса). При этом в коллекторе образуются перепады давления, способные преодолеть начальный градиент сдвига [Николаев, 1994]. От аналогичных эффектов, наложенных на эффекты тектонического порядка, в немалой степени, по-видимому, зависят и условия формирования многих гетерогенных структур геофизической среды. Примером тому дилатансные структуры. Анализ поля напряжений в районах подготовки землетрясений и результаты численного моделирования условий возникновения зон дилатансии позволяют допускать возможность образования разномасштабных трещиноватых структур на удалении 200–300 км от очага будущего землетрясения [Alekseev, 1993; Алексеев и др., 2008].

В результате взаимодействия региональных и локальных тектонических сил в гетерогенных структурах геологической среды возникают области высокой концентрации напряжений, что и приводит к сложным изменениям в строении тонкой структуры геологической среды. Происходят крупные реологические изменения в среде и формируются аномальные зоны геофизических полей разной природы. Наиболее универсальным механизмом развития изменений является раскрытие трещин в зонах повышенных значений сдвиговых и растягивающих напряжений. Такие зоны образуются в окрестности очагов будущих землетрясений и в ряде других мест геологической среды. Начальную стадию раскрытия трещин и последующее состояние геологической среды, при котором развиваются многие из упомянутых ранее явлений и происходят процессы перестройки разломно-блочных структур, большинство геофизиков связывают с состоянием дилатансии среды [Николаевский, 1982; Алексеев и др., 2008]. Именно зоны дилатансии и другие неоднородные образования резонансного типа являются своего рода «механохимическими и электродинамическими» лабораториями, определяющими многие процессы в литосфере, определяющие не только развитие разномасштабных катастрофических процессов в геологической истории, но и обеспечивающие трансформацию волновых структур, наведенных внутренними и внешними воздействиями.

ЛИТЕРАТУРА

Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.

Алексеев А.С., Глинский Б.М., Имомназаров Х.Х., Ковалевский В.В., Собисевич Л.Е., Хайретдинов С.М., Цибульчик Г.М. Мониторинг геометрии и физических свойств «поверхностной» и «очаговой» дилатансных зон методом вибросейсмического просвечивания сейсмоопасных участков земной коры // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Под ред. акад. Н.П. Лаверова. М.: ИФЗ РАН, 2008. Т. 1. С. 179–222.

Алексеев А.С., Еманов А.Ф., Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Михайленко Б.Г., Селезнёв С.В., Юшин В.И., Хайретдинов М.С., Касахара Д., Сато Т., Мочизуки К. Изучение структуры виброСейсмического поля мощных источников // Проблемы геоакустики: методы и средства. М. Изд. Моск. госуд. горн. унив., 1996. С. 155–160.

Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел. М.: Наука, 1977. 430 с.

Войтов Г.И., Голубев О.А., Колабашкин В.М. и др. Особенности внутрисуточного хода CH_4 в приземном слое атмосферы в пределах Джавахетского нагорья (Малый Кавказ) // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265, № 1. С. 175–177.

Газлийское землетрясение 1976 года. Геолого-геофизическая природа очага. Под ред. С.А. Федорова. М.: Наука, 1984. 112 с.

Галкин И.Н. Геофизика Луны. М.: Наука, 1978. 174 с.

Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение. М.: Докл. РАН. 1960. 485 с.

Ержанов Ж.С., Калыбаев А.А. Общая теория вращения Земли. М.: Наука, 1984. 253 с.

Коган С.Я., Гольфанд Я.Ю., Поликарпова Л.А. О некоторых особенностях распределения глубокофокусных землетрясений // Физика Земли. 1986. № 2. С. 16–25.

Ламб Г. Гидродинамика. М.; Л.: Гостехиздат, 1947. 928 с.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Наука, 1973. 215 с.

Лаплас П.С. Изложение системы мира. Л.: Наука, 1982. 374 с.

Леонард Эйлер. Сборник статей в честь 250-летия со дня рождения. М.: АН СССР, 1958. 606 с.

Ляя А. Математическая теория упругости. М.-Л.: ОНТИ, 1935. 674 с.

Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965. 379 с.

Мах Э. Механика. СПб.: Общая польза, 1909. 448 с.

Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. 482 с.

Миланович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. ГОНТИ НКТП СССР, 1939. 207 с.

Николаев А.В., Войтов Г.И., Аммосов С.М. О возможной роли механохимии в балансе метана в атмосфере Земли // Докл. РАН. 1994. Т. 337, № 3. С. 393–397.

Николаевский В.Н. Деформация геоматериалов и пористых сред. // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. 1982. № 2. С. 96–109.

Ньюто М.И. Закон Тициуса – Боде. М.: Мир, 1976. 188 с.

Ньютон И. Математические начала натуральной философии.// Пер. с лат. А.Н. Крылова // Собр. тр. акад. А.Н. Крылова. Т. 7. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 696 с.

Приливы и резонансы в Солнечной системе. М.: Мир, 1975. 286 с.

Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л., Богатиков О.А., Гурбанов А.Г., Коваленко и др. Геодинамика, сейсмотектоника и вулканализм Северного Кавказа / под ред. академика Н.П. Лаверова. М.: ОИФЗ РАН, 2001. 336 с.

Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойствах дискретности горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1982. № 12. С. 3–18.

Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.. Деформирование геофизической среды и геофизический процесс. М.: Наука, 1987. 102 с.

Садовский М.А., Голубева Т.В., Писаренко В.Ф., Шнирман М.Г. Характерные размеры горной породы и иерархические свойства сейсмичности // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. № 2. С. 3–15.

Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы // Докл. АН СССР. 1979. Т. 274, № 4. С. 829–831.

Садовский М.А., Писаренко В.Ф., Родионов В.Н. От сейсмологии к геомеханике: О модели геофизической среды // Вестн. АН СССР. 1983. № 1. С. 82–88.

Смарт У.М. Небесная механика. М.: Мир, 1965. 502 с.

Собисевич А.Л. Мониторинг слоистых неоднородных сред. М.: ОИФЗ РАН, 2001. 354 с.

Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л. Волновые процессы и резонансы в геофизике. М.: ОИФЗ РАН, 2001. 297 с.

Собисевич Л.Е., Милюков В.К., Собисевич А.Л. Механико-математический мониторинг магматических структур вулкана Эльбрус. // Сборник научных трудов. М.: ОИФЗ РАН. 2001.

Собисевич Л.Е., Нечаев Ю.В., А.Л. Собисевич, О.А. Богатиков, А.Г. Гурбанов и др. Мониторинг магматических структур вулкана Эльбрус / Под редакцией академика Н.П. Лаверова. М.: ОИФЗ РАН, 2001. 192 с.

Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Изучение ультразвуковых электромагнитных возмущений, регистрируемых в районе Эльбруссского вулканического центра // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Под ред. акад. Н.П. Лаверова. М.: ИФЗ РАН, 2008. Т. 6. С. 157–163.

Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Ультразвуковые электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями // Докл. РАН. 2009. Т. 429, № 5. С. 688–672.

Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений // Докл. РАН. 2010. (В печати).

Хитаров Н.И., Войтов Г.И. Твердые приливы и дегазация Земли // Природа. № 3. 1982. С. 6–12.

Чумаков Н.М. Проблема теплой биосфера // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3, № 3. С. 3–14.

- Шварцбах М.* Климаты прошлого. М.: ИЛ., 1955. 247 с.
- Alekseev A.S.* A multidisciplinary mathematical model of combined foreshock for earthquake prediction research // J. of Earthquake Prediction Research. 1993. Vol. 2, № 2. P. 137–150.
- Busse F.N.* The dynamical coupling between inner core and mantle of the Earth earthquake displacement fields and rotation of the Earth // Dordrecht. 1970. P. 88–98.
- Jacobs J.A.* The Earth's inner core and the geodynamo: determining their roles in the Earth's history // EOS. 1995. Vol. 76. Issue 25. P. 249.
- Lammlein D.R.* Lunar seismicity and tectonics // Phys. Earth and Planet. Inter. 1977. Vol. 14. P. 224–273.
- Thomson W., Tait P.G.A.* Treatise on Natural philosophy. Oxford, 1867. 727 p.
- Yumi S., Yokoyama K.* Results of the International Latitude Service in a Homogeneous ... Latitude Observatory of Mizusawa. Mizusawa, 1980. 199 pp.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ю.Г. Гатинский, Д.В. Рундквист, Г.Л. Владова, Т.В. Прохорова</i> СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЛАВНЕЙШИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ	13
<i>В.И. Осипов, Н.И. Фролова, С.П. Сущев, В.И. Ларионов</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО И ПРИРОДНОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	28
<i>В.И. Величкин, Б.П. Власов, М.В. Шумилин</i> ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЫВШЕГО СССР И РОССИИ	49
<i>С.А. Дмитриев, В.И. Величкин, Б.И. Омельяненко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО УРОВНЕЙ РАДИОАКТИВНОСТИ	64
<i>В.И. Величкин, В.И. Мальковский, Н.Н. Тарасов, Ю.П. Диков</i> АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ ОЗЕРА КАРАЧАЙ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	77
<i>Б.И. Омельяненко, В.И. Величкин, С.В. Юдинцев</i> ПОВЕДЕНИЕ АКТИНИДОВ В УСЛОВИЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	86
<i>С.В. Юдинцев, Б.И. Омельяненко</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТЕХНЕЦИЯ	99
<i>И.Н. Солодов, А.К. Лисицын</i> ПОЛИЭЛЕМЕНТНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И МЕТАЛЛЫ, ИЗВЛЕКАЕМЫЕ СЕРНОКИСЛОТНЫМ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ	109
<i>В.А. Петров, В.В. Полуэктов, Р.М. Насимов, А.А. Бурмистров, С.И. Щукин, Й. Хаммер</i> ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В ГРАНИТАХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОЯТ	124
<i>В.М. Котляков, Л.Н. Васильев, М.Ю. Москалевский</i> БАЛАНС МАССЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЛЁДНИКОВОГО ПОКРОВА	139

<i>Ю.Я. Мачерет, А.Ф. Глазовский, И.И. Лаврентьев</i> ВОДА В ПОЛИТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕПЛЫХ ЛЕДНИКАХ	152
<i>В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов, О.В. Нагорнов, С.А. Тюфлин, И.И. Лаврентьев, С.А. Марченко, В.И. Окопный</i> СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ФИРНОВО-ЛЕДЯНОЙ ТОЛЩИ НА ЗАПАДНОМ ПЛАТО ЭЛЬБРУСА	180
<i>Ю.П. Масуренков, А.Л. Собисевич</i> ЭЛЬБРУССКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ – ИНДИКАТОР ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО И ФЛЮИДНОГО СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНА	189
<i>А.Н. Хименков, Г.З. Перльштейн, Д.О. Сергеев, А.Н. Власов, В.П. Мерзляков, Ю.В. Халилова</i> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РИСКА ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ	205
<i>Е.В. Коротеева, Е.И. Вейсберг, Н.Б. Куянцева, С.А. Лесина</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНЫХ ПРЕДГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА	213
<i>А.Ю. Кудеярова</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ ПРИ ЗАФОСФАЧИВАНИИ КИСЛЫХ ПОЧВ	223
<i>И.В. Галицкая, И.А. Позднякова, Л.С. Томс</i> МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПРИРОДНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ РИСКОМ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	239
<i>Л.С. Кучмент, А.Н. Гельфан</i> СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МАШТАБОВ И РИСКА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА	252
<i>В.В. Адушкин, П.П. Фирстов</i> ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ В АТМОСФЕРЕ	264
<i>А.Ю. Озеров</i> МЕХАНИЗМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ФОНТАНИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВУЛКАНОВ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ПРИРОДНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ)	279
<i>О.В. Руденко, А.Л. Собисевич, Л.Е. Собисевич</i> О ФИЗИКЕ АКУСТИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ И МЕДЛЕННЫХ ВОЛНАХ В ГРАНУЛИРОВАННОЙ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ	299
<i>В.Н. Николаевский</i> ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – СОБЫТИЯ И ПРЕДВЕСТИКИ УДАРА	316
<i>Б.В. Левин, Г.В. Шевченко, В.М. Кайстренко, Т.Н. Ивельская, Т.К. Пинегина, Н.Г. Разжигаева</i> ПРОБЛЕМА ЦУНАМИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АСПЕКТ)	332
<i>В.А. Семенов, И.И. Мохов, М. Латиф</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РЕГИОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ	355

<i>Ю.Н. Авсюк, А.Л. Собисевич</i>	
ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ – ЛУНА – СОЛНЦЕ	
И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ	373
<i>В.Ч. Хон, И.И. Мохов</i>	
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА К ИЗМЕНЕНИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ	
И КОНЦЕНТРАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	392
<i>В.М. Григорьев, Л.В. Ермакова, А.В. Мордвинов, Ю.А. Наговицын, А.Г. Тлатов,</i>	
<i>В.Г. Иванов, Е.В. Милецкий, Е.Ю. Наговицына, А.И. Хлыстова, С.А. Язев</i>	
ВОЗНИКНОВЕНИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ, ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	
В 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ И НА ДЛИТЕЛЬНОЙ ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ	399
<i>С.И. Сороко, В.П. Рожков, Е.Г. Сергеева, С.С. Бекшаев, С.С. Андреева, И.В. Николаев</i>	
ОСОБЕННОСТИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ	
И ГЕМОДИНАМИКИ МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ	
В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО И ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО СЕВЕРА	413

Научное издание

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

В 2 томах

Том 2

ГЕОЛОГИЯ УРАНА, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ

*Печатается по решению Научного совета Программы
фундаментальных исследований президиума РАН № 4*

Ответственный составитель д.ф.-м.н. Собисевич Алексей Леонидович

Технический редактор В.И. Горбенко
Компьютерная верстка К.А. Мордвинцев
Корректор С.Б. Суслова

Подписано в печать 05.09.11. Формат 60×90/8
Гарнитура Таймс. Бумага мелованная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 54. Тираж 200 экз.

ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
123995 ГСП-5, Д-242, Москва, ул. Б. Грузинская, 10

Отпечатано в типографии издательства «ПРОБЕЛ 2000»
109544 Москва, ул. Рабочая, 91