

УДК 550.2+551.1

А. Т. АСЛАНЯН

О ПРИЧИНАХ ДУГООБРАЗНОГО ПЛАНА ДЕФОРМАЦИОННЫХ МЕГАСТРУКТУР ЗЕМНОЙ КОРЫ

Глыбовое строение литосферы, различия в мощности и плотности между отдельными глыбами коры, наличие в основании литосферы плотных масс типа вязкой жидкости, способность континентальных блоков литосферы скользить по поверхности астеносферы, сферичность срединной поверхности литосферы, медленный ход деформаций, гравитационное сжатие, замедление вращения, изменение пространственного положения Земли являются теми условиями, которые определяют особенности геометрической тектоники литосферы.

Хорошо известно, что гидростатическое (контракционное) давление в недрах Земли на один порядок больше газо-температурного (экспансивного) давления и поэтому Земля в целом должна находиться в состоянии перманентного сжатия. Равным образом известно, что приливное взаимодействие между Солнцем, Землей и Луной вызывает замедление вращения Земли, уменьшение ее эллиптичности, деформации сжатия в низких широтах и деформации растяжения в высоких широтах [2].

В последующем изложении мы будем рассматривать орогенные пояса как зоны концентрации деформаций и напряжений, возникающие при общей контракции планеты и сопряженного с ней скольжения литосферы по поверхности астеносферы. Вместе с этим орогенные пояса мы будем рассматривать как своеобразные пластические шарниры, посредством которых платформенные блоки литосферы, залегающие на текучих квазимагматических массах, гидростатически уравниваются и тем самым обеспечивается в первом приближении нормальное изостатическое состояние литосферы.

Одной из наиболее интересных особенностей структурного плана земной коры является дугообразное строение складчатых зон, островных гирлянд и океанических тектогенов, которое ярко выражено в областях перехода от океанических платформ к континентальным платформам, где альпийские островные складчатые хребты и заложенные рядом с ними глубоководные тропи имеют резко выраженную серповидную форму и выгнуты от материковой платформы к океанической.

Обсуждению указанной особенности тектоники Земли посвящена значительная литература, принадлежащая перу таких авторитетов, как Аргац, Венинг-Мейнес, Умбгров, Хессе, Заварицкий, Кюнец, Джеффрис, Ли, Колмс, Бул, Лоусон, Григге, Шейдеггер, Уилсон и др. [3, 5, 7, 9, 10].

Совокупность геологических и геофизических вопросов, связанных с природой тектонических дуг, известна сейчас под названием проб-

лемы островных дуг и охватывает, по существу, вопросы тектоники всех областей коры, где проявлялись изгибные деформации.

Действительно, анализ тектонических карт обнаруживает отсутствие складчатых зон, тектогенов (поясов Венинг-Мейнеса), синеклиз, антиклиз, предгорных прогибов и авлакогенов, которые были бы вытянуты прямолинейно и, следовательно, находились бы в плоскостях больших кругов Земли. Как правило, оси их имеют в плане изогнутую форму и находятся в плоскостях малых кругов, перескающих земной шар далеко от его центра.

После разбора существующих гипотез об островных дугах А. Н. Заварицкий [5] пришел к выводу, что эти гипотезы неудовлетворительны и должны быть заменены другими, объясняющими концентрическое расположение тесно сочетающихся островных дуг, вулканических поясов, очагов землетрясений и зональных аномалий силы тяжести.

Строение типичной системы островных дуг представляется обычно в следующем виде [3, 5, 7].

Во внешней выгнутой части концентрической системы дуг, со стороны океанической платформы располагается глубоководный прогиб (тектоген) типа желоба, который имеет ширину порядка 150—200 км, отмечен большими отрицательными аномалиями силы тяжести и местами мелкими островными кордильерами, сложенными преимущественно граувакками; во внутренней вогнутой части тектогена отмечаются эпицентры землетрясений, очаги которых находятся в коре и тяготеют к плоскости взброса, погружающегося под углом 30° в сторону материковой платформы.

В сторону материка, рядом с глубоководным тектогеном, располагается погребенная интрагеоантиклинальная дуга, которая отмечена большими положительными аномалиями силы тяжести, очагами землетрясений на глубинах порядка 60 км и напоминает по своему тектоническому положению, строению и морфологии молодые межгорные прогибы.

Еще дальше в сторону материка располагается молодая эвгеосинклинальная складчатая зона типа мегантиклинория шириною 150—200 км, которая сложена вулканогенно-осадочными отложениями, прорванными иногда интрузиями габбро-перидотитовой и гранитоидной магмы. Мегантиклинорий характеризуется в целом относительно слабыми отрицательными аномалиями силы тяжести, очагами землетрясений глубиной порядка 100 км и наличием молодых вулканов во внешних подзонах дуги, изливающих средние и кислые лавы. Наконец, ближе к центру окружностей, к которым принадлежат указанные дуги, последовательно появляются более глубокие очаги землетрясений, приуроченные к плоскостям сбросов (именуемым как зоны Беньоффа), погружающимся в сторону материка под углом порядка 60° . Наибольшая глубина этих очагов 720 км.

По данным Гутенберга и Рихтера [9], поверхности указанных разломов с углами падения 30 и 60° смыкаются под корой и образуют единую

коническую поверхность с вершиной конуса на глубинах до 720 км. Характерными примерами таких систем концентрических дуг являются Алеутская, Курильская, Филиппинская, Индонезийская, Мексиканская, Северо-Андская, Южно-Андская и некоторые другие системы дуг. Ниже сделана попытка осмыслить проблему складчатых дуг и океанических тектогенезов под углом зрения общих законов прикладной механики.

При такой попытке в первую очередь обращает на себя внимание тот факт, что орогены располагаются в большинстве случаев на границе континентальных и океанических платформ, где происходит резкий скачок мощности коры (здесь отношение мощностей достигает местами 2:1).

По законам строительной механики, гидродинамики и электротехники такие пограничные зоны с резким изменением кривизны поверхности являются наиболее благоприятными для концентрации разрушающих напряжений и деформаций и приуроченность линейментов и орогенов к ним вполне естественна. Наиболее наглядным примером этому служат Круготихоокеанский пояс складчатых цепей и складчатые зоны, окружающие Средиземное, Черное, Южнокаспийское, Охотское и Карибское моря, которые, возможно, при дальнейшей миграции геосинклиналей будут полностью замещены складчатыми комплексами. Неоднократно высказывалось предположение, что подобную эволюцию испытали также восточные области Альпийско-Гималайского орогена, на месте которых в прошлом могли существовать океанические участки типа Средиземноморского бассейна.

В рассматриваемом случае план расположения тектогенезов и возникших на их месте складчатых цепей, естественно, будет подчиняться начальному плану пограничной зоны между океанической и континентальными областями коры или вообще плану пограничной зоны между соседствующими блоками с различными мощностями коры. Наглядный пример этому дают складчатые зоны, окаймляющие срединные массивы в орогенах (Колыма и др.).

Как было указано Джеффрисом [4], для поддержания изостазии, в земной коре должны неизбежно существовать весьма протяженные крупные разрывные нарушения глубокого заложения. Теперь доказано их существование во всех частях земного шара. Как было показано Н. С. Шатским, они в виде неправильного четырехугольника оконтуривают платформенные блоки, почти повсеместно сопровождают геосинклинальные прогибы и орогенные пояса, во многих местах прослеживаются вдоль границы континентальных и океанических платформ и нередко встречаются также во внутриплатформенных и квазиплатформенных областях (рифтовые долины, грабены, авлакогены и др.). Это так называемые глубинные разломы, по А. В. Пейве [6], которые отличаются перманентностью своего развития и проявляются, в первую очередь, в резких различиях фаций, мощностей и полноты разрезов по обе стороны разломов.

Согласно принципу наследственности деформаций, сформулиро-

ванному Больцманом, при каждом новом этапе проявления тектонической активности, силы и деформации при прочих равных условиях должны концентрироваться в зонах ранее возникших геосинклиналей и глубинных разломов, являющихся областями больших конечных деформаций. Равным образом, согласно этому принципу, зонами концентраций напряжений и деформаций будут оставаться незавершенные пиверсей неконсолидировавшиеся орогены. Строго говоря, на этом принципе основано несколько упрощенное утверждение Штилле и Шатского о том, что все послепалеопротерозойские геосинклинали на земном шаре возникли одновременно и с тех пор происходит лишь их эволюция с общей тенденцией превращения в горно-складчатые системы и что новых геосинклинальных систем не возникает и не может возникнуть.

Таким образом, в рассмотренном выше втором случае распределения тектонических сил и деформаций, структурный план бассейнов осадконакопления и возникающих на их месте складчатых цепей будет контролироваться структурным планом ранее возникших геосинклиналей и глубинных разломов, причем во всех случаях, когда плоскости разломов будут располагаться в плоскостях малых кругов Земли, прилегающие к ним более молодые складчатые цепи будут иметь в плане дугообразную форму.

Обоуждая теорию контракции, Г. Джеффрис в последнем издании (1959) своего монументального труда «Земля» [4] рассматривает две исключаяющих, по его мнению, друг друга возможности больших деформаций земной коры—путем разрывных дислокаций и путем упругой неустойчивости, осуществляющейся в виде продольного синусоидального изгиба коры. При этом, следуя известной идее Девисона (1887), он считает, что твердая земная кора нежимаема, а уменьшение объема Земли происходит почти исключительно в верхней мантии, которая спонтанно уплотняется и испытывает растяжение в то время, как литосфера в целом испытывает сжатие.

Согласно геофизическим данным литосферу можно рассматривать как твердую оболочку, которая залегает на упругом основании и подвержена силам гравитационного сжатия. В таком виде ставили задачу Смолуховский (1909), Гольдштейн (1926), Джеффрис (1932), Биллард (1938), Лейбензон (1939), Вешинг-Мейнес (1940, 1955), Гуни (1947), Магницкий (1945), Оганезов (1945) и др. [1].

Указанные авторы, применяя выводы теории Эйлера и Винклера об устойчивости плит и оболочек, залегающих на упругом основании, и пользуясь известной формулой

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{3} E H \rho_s} = \frac{2\rho_s}{H} \sqrt{\frac{D}{\rho_s}} = \frac{2\rho_s a^2}{H},$$

для величины модуля Юнга коры $E = 600.000 - 1.000.000 \text{ кг/см}^2$, мощности коры $H = 30 - 50 \text{ км}$ и плотности подкорковых масс $\rho_s = 3,1 - 3,3 \text{ г/см}^3$, получили значение первого критического напряжения потерн

устойчивости $\sigma_k = 45000-70000 \text{ кг/см}^2$ в то время, когда предел прочности литосферы достигает всего $\sigma_s \approx 3000-4000 \text{ кг/см}^2$ ¹.

Таким образом, казалось, выясняется, что задолго до образования первого необратимого синусоидального прогиба, при одноосном горизонтальном сжатии, литосфера разрывается и что при контракции Земли и дрейфе материков возникновение продольных изгибных деформаций невозможно.

Следует отметить, что указанная выше формула правомерна лишь в тех случаях, когда собственным весом литосферы пренебрегают. Решение задачи с учетом собственного веса деформируемой зоны земной коры дано в работе автора [1]. Оказалось, что σ_k в этом случае равняется приблизительно пределу текучести литосферы и, следовательно, одинаково возможны как изгибные деформации литосферы путем упругой неустойчивости, так и разрывные дислокации.

При синусоидальном типе изгиба коры ширина прогиба (тектогена), соответствующая σ_k , равняется

$$L_k = \pi \sqrt[4]{\frac{D}{\rho_s}} = \pi \sqrt[4]{\frac{EH^3}{12\rho_s}} = \pi a.$$

Средняя мощность литосферы $H = 75 \text{ км}$. Модуль Юнга коры в соответствии с задачей Ламе определяется из зависимости $\sigma = PR/2H$, которая при условии $P = \rho_k H$, когда мембранное напряжение σ равняется E , дает $E = R\rho_k/2$ (ρ_k — средняя плотность литосферы, R — радиус недеформированной коры, т. е. радиус Земли). При $\rho_k = 3,13 \text{ г/см}^3$ и $R = 6371 \text{ км}$ получаем $E = 1000.000 \text{ кг/см}^2$ и соответственно, полагая плотность упругого субстрата $\rho_s = 3,87 \text{ г/см}^3$, получаем $L_k = 240 \text{ км}$ [2].

Все складчатые системы земного шара, именуемые в советской литературе мегантиклинориями (Урал, Верхоянский хребет, Большой Кавказ, Малый Кавказ, Понтиды, Эльбурс, Загросс, Копетдаг, Альпы, Карпаты, Аппалачи, Анды, Американские и Австралийские кордильеры, Скандинавские горы и др.), островные дуги и глубоководные океанические тропи типа Яванского прогиба (пояса Венинг-Мейнеса, тектогены Хесса или зоны Бенъоффа) все имеют ширину, определяемую формулой $L_k = \pi a$, т. е. порядка 200 км. Этот факт, безусловно, указывает на изгибный характер деформаций коры при ее горизонтальном сжатии.

Давление, которое оказывает собственный вес одной синусоидальной полуволны коры на другую полуволну, равняется $\sigma_0 = \pi a \rho_k = L_k \rho_k$.

Согласно теории Эйлера, прогибающаяся полоса невесомой модели земной коры шириною $L_{кр}$, будет терять устойчивость при осевом сжимающем напряжении

$$\sigma_k = \frac{2\pi^2 D}{HL_k^2} = \frac{2\rho_s a^2}{H},$$

¹ Недавние опыты, выполненные в Новосибирском институте геологии и геофизики, показали прочность базальтов под гидростатическим давлением 10.000 кг/см^2 и при температуре 500°C в пределах $3600-3700 \text{ кг/см}^2$.

а с учетом собственного веса — при напряжении

$$\sigma_k = \frac{2\rho_s a^2}{H} - \tau\rho_k a.$$

Последняя формула при условии $\sigma_k = 0$ дает $H \approx 75$ км, т. е. из этого условия следует, что литосфера при мощности более 70—80 км под влиянием лишь собственного веса, без участия сил горизонтального сжатия, должна терять устойчивость и может достигать столь большой мощности лишь в молодых орогенах, находящихся за пределами первого критического значения напряжения потери упругой устойчивости [2].

Таким образом, из нашего анализа следует, что потеря упругой устойчивости и разрыв коры могут происходить с одинаковой вероятностью, причем поскольку при изгибных деформациях срезающие усилия достигают максимума в краевых зонах прогибов, то разрывы в виде взбросовых нарушений будут приурочиваться к бортам этих прогибов. Характерным примером этого являются тафрогеосинклинали и грабены.

При продольном синусоидальном изгибе коры энергия радиальных перемещений W пропорциональна эффективной плотности коры $\bar{\rho}$. Для областей поднятий она пропорциональна обычной лабораторной плотности литосферы $\bar{\rho} = \rho_k = 3,13$ г/см³, для прогибающихся областей уменьшается до разности плотностей астеносферы и литосферы $\bar{\rho} = \rho_s - \rho_k = 0,74$ г/см³. Отсюда следует, что при продольном изгибе литосферы, как правило, будут возникать в начале единичные прогибы, а гравитационные с ними поднятия будут носить характер относительных остаточных выступов. Такие поднятия нельзя, конечно, смешивать с поднятиями альпийских складчатых гор, которые возникают на месте геосинклинальных прогибов (тектогенов), когда литосфера под ними переходит из твердого состояния в текучее, и весь геосинклинальный комплекс пластически выжимается вверх, уступая место подкоровым избыточным массам смежных оседающих платформ.

При указанных выше ориентировочных оценках несомненно должны учитываться также два следующих важных обстоятельства: первое—под альпийскими хребтами температура достигает 1000—1250° на глубине порядка 50—60 км, а под смежными платформами—на глубинах 100—150 км; второе—если коэффициент ложа литосферы по величине много больше плотности литосферы, то при продольном изгибе будут возникать единичные зоны поднятий.

Следующий существенный фактор, влияющий на морфологию деформационных структур—это сферичность коры. Важность его подчеркнул Джеффрис, Венинг-Мейнес, Шатский, Магницкий, Косыгин и др. [1]. Для нашей задачи большой интерес представляет то обстоятельство, что при деформации сферических оболочек, в отличие от пластин и цилиндрических оболочек, значительная энергия требуется также для растяжения среднего сферического слоя литосферы,

без чего последняя не может изгибаться. Естественно, в случае изгибных деформаций литосферы максимум энергии для растяжения среднего слоя будет требоваться для тех прогибов, которые имеют симметричный профиль и поэтому вытянуты вдоль больших кругов планеты, проходящих через ее центр, и меньше энергии будет расходоваться для зарождения асимметричных прогибов, которые вытянуты вдоль малых кругов планеты и имеют в плане серповидную форму¹.

В связи с этим определенная роль в условиях контракции Земли должна быть приписана также корiolисовым силам, которые в условиях контракции отклоняют проседающие близмеридионально вытянутые блоки литосферы на восток, а широтные блоки и зоны—на юг. Под влиянием этой силы прогибающиеся зоны литосферы должны иметь преимущественно тенденцию отклоняться соответственно на восток и на юг.

Указанные выше серповидные прогибы должны ограничиваться с вогнутой стороны разломом. Вместе с этим вдоль вогнутой стороны серпа должны иметь место деформации растяжения, а вдоль вогнутой стороны—деформации сжатия, которые в первом случае должны вызывать зияющие трещины, а во втором случае—трещины скола, являющиеся вместе с ограничивающими глубинными разломами очаговыми областями землетрясений. Кроме того, в осевой полосе серпа, в нижней половине литосферы должны возникать зияющие трещины, инжектирующиеся продавленными из астеносферы магматическими массами. Как впервые было показано Веннинг-Мейнесом, Хессом и др., наиболее благоприятными для проявления эффузивного вулканизма будут указанные зияющие трещины.

В начале процесса продольного изгиба коры одно из главных нормальных напряжений (σ_1) находится в плоскости большого круга и направлено поперек прогиба, второе (σ_2)—вдоль прогиба, а третье (σ_3)—от оси прогиба к центру Земли. Принято считать, что в стадии упругой деформации $\sigma_1 > \sigma_2$ и всегда $\sigma_1 \gg \sigma_3$, $\sigma_2 > \sigma_3$, а в стадии пластических деформаций $\sigma_1 \leq \sigma_2$. Резкое увеличение кривизны дуги и ундуляция шарниров деформационных структур внутри дуги являются, очевидно, следствием условия

$$\tau_1 \leq \tau_2.$$

¹ В отличие от «невесомых» плит (см. формулу на стр. 6), для невесомых сферических оболочек первое критическое значение потери устойчивости определяется выражением $\tau_2 = \sqrt{\frac{1}{3} E H (\rho_s + E H / R^2)}$, где второе слагаемое в подкоренных скобках отражает влияние фактора сферичности на возрастание устойчивости оболочки. Соответственно, руководствуясь принципом наименьшего действия, можно показать, что на развитие серповидных прогибов, развивающихся по малым кругам и имеющих малый объем, будет затрачиваться энергии меньше, чем на прямолинейные прогибы той же протяженности, развивающиеся по большим кругам.

В области больших изгибных деформаций и значительного накопления осадков и вулканогенных образований, литосферные массы в прогибах переходят из твердого состояния в текучее, испытывают региональный метаморфизм и лишаются прочности. В этих условиях форланды погружаются, и астеносферные массы, которые были вытеснены из-под прогибов в процессе роста последних, вновь возвращаются под прогибы, выжимают весь пластический комплекс геосинклинального прогиба вверх (инверсия) и создают на их месте горные сооружения типа складчатых островных дуг, причем ввиду того, что первичная поверхность прогиба больше ее горизонтальной проекции, при выворачивании прогиба происходит усиление и дизъюнктивное осложнение складчатости осадочного комплекса, возникшей еще в ходе прогибания литосферы и осадконакопления (М. Бертрап, Н. С. Шатский, В. Е. Хаин и др.).

Следует также отметить, что в верхней мантии, в астеносфере и мезосфере ввиду преобладания сил горизонтального растяжения над силами вертикального сжатия ($\sigma_1 \gg \sigma_3$) в течение длительного времени будут образовываться магистральные зоны растяжений и сбросовых нарушений. Представляется вероятным, что эвгеосинклинальные зоны закладываются на основе таких зон растяжений астеносферы и мезосферы.

Касаясь гравиметрической характеристики складчатых областей, необходимо отметить, что изменения силы тяжести в них будут следовать в основном изгибам срединной поверхности литосферы—в тех областях, где эта поверхность прогнута сильнее, будет иметь место большой дефицит масс и будут наблюдаться соответственно большие отрицательные аномалии силы тяжести. Теоретически эти соотношения особенно наглядно будут изображаться по методу Бриллауэна, когда уровенная поверхность силы тяжести проводится по сфероиду, заключающему все неровности рельефа Земли. В общем же случае, исходя из изложенной выше схемы деформации литосферы, можно утверждать, что региональные аномалии силы тяжести обуславливаются изгибными деформациями и связанными с ними перемещениями астеносферных масс и частично субаэральных масс и что такие аномалии исчезнут при некотором расширении Земли или образовании в литосфере многочисленных зон больших пластических деформаций и разрывных нарушений, обеспечивающих перемещения между жесткими блоками литосферы и текучими массами астеносферы по закону Архимеда.

Привлекая к механизму происхождения деформационных структур литосферы также фактор приливного замедления вращения Земли, следует указать, что при таком замедлении в литосфере будет возникать система долготных структур типа Внутриамериканского хребта и широтных структур типа Кругоарктических трогов и ороклиналей. При этом, в случае нарушения сплошности литосферы типа рифтовых зон растяжений Внутриамериканского хребта, литосферные плиты по обе стороны рифтовой зоны под влиянием собственной силы тяжести (в сог-

ласни с указанной выше формулой $P = H\sigma_k = 2\rho_c a^2 - \pi H\rho_c a$ будут погружаться и удаляться друг от друга, а сама зона, инъецируемая подкоровыми текучими массами, будет приобретать характер диапировой структуры [2].

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 24.V.1976.

Ա. Տ. ԱՍԼԱՆՅԱՆ

ԵՐԿՐԱԿԵՂԵՎԻ ԳԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՄԵԳԱՍՏՐՈՒԿՏՈՒՐԱՆԵՐԻ ԱՂԵՂՆԱԶԵՎՈՒԹՅԱՆ ՊԱՏՃԱՌՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ելնելով նվազագույն աշխատանքի թերմոդինամիկ սկզբունքից, հողվածում հիմնավորվում է այն գրույթը, որ աղեղնաձև տեկտոնական ստրուկտուրաներն առաջանում են երկրազնդի փոքր (արտակենտրոն) շրջանների հարթությունների մեջ և իրենց ստեղծման համար պահանջում են ավելի փոքր տեսակարար էներգիա, քան ուղղաձիգ տեկտոնական ստրուկտուրաները, որոնք առաջանում են երկրազնդի մեծ (կենտրոնական) շրջանների հարթությունների մեջ և պահանջում են համեմատաբար ավելի մեծ տեսակարար էներգիա: Էներգիաների այս տարբերությունների պատճառով աղեղնաձև (մահիկաձև) տեկտոնական ստրուկտուրաներն առաջանում են անհամեմատ ավելի հաճախ, քան ուղղաձիգ ստրուկտուրաները: Աղեղնաձև ստրուկտուրաների բնորոշ օրինակներ են շուրջօվկիանոսային խորքայա ակոսաձև անդունդները և ծալքավոր արշիպելագները, ալպինոտիպ ծալքավոր սիստեմների գոգավոր սեղմենտները և այլն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Асланян А. Т. Динамическая проблема геотектоники. Сб. докладов советских геологов на XXI международном геол. конгр., Проблема 18, Изд-во АН СССР, 1960.
2. Асланян А. Т. Предельная мощность и предельная прочность литосферы в свете теории гравитационного сжатия и приливного торможения Земли. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 1, 1976.
3. Джекобс Д., Рассел Р., Уилсон Д. Физика и геология, «Мир», М., 1964.
4. Джеффрис Г. Земля. Изд-во ИЛ, М., 1960.
5. Заварицкий А. Н. Некоторые факты, которые надо учитывать при тектонических построениях. Известия АН СССР, серия геол., № 2, 1946.
6. Пейве А. В. Разломы и их роль в строении и развитии земной коры. Сборник докладов советских геологов на XXI международном геол. конгрессе. Проблема 18, Изд-во АН СССР, 1960.
7. Сборник статей «Островные дуги» под ред. А. Н. Заварицкого. Изд-во ИЛ, М., 1952.
8. Хаин В. Е. Общая геотектоника. «Недра», 1964.
9. Gutenberg B., Richter C. F. Seismicity of the Earth, Princeton Univ. Press, 1954.
10. Sheldigger A. E. Principles of Geodynamics. Springer-Verlag, 1958.