

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДЕЛИМОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЕЕ ОТРАЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ЛИНЕАМЕНТОВ\*

А.И. Никонов  
Институт проблем нефти и газа РАН,  
e-mail: nikson59@rambler.ru

### Введение

Формирование тектонических структур в пределах земной коры и структурных элементов в осадочной оболочке означает, что породы фундамента и (или) чехла должны быть подвергнуты деформированию.

В работах Ю.О. Кузьмина [1–2] дается тщательный анализ существующих подходов – кинематического и силового для определения причин деформаций. Важным в нем является то, что деформация есть результат определенного движения, а не силы. Следовательно, объяснить происхождение деформаций (структурных форм) – это значит объяснить происхождение тех движений, которые привели к изменению взаимного расположения отдельных частей тела.

К пространственно-временным воздействиям, приводящим к пластическим деформациям горных пород или потере их прочностных свойств с последующим образованием зон разломов, будем относить геодинамические процессы.

В данной статье используется определение геодинамики, которое приведено в работе Тэркота Д., Шуберта Дж. [3]: *«Геодинамика изучает движения и деформации, происходящие в земной коре, мантии и ядре, и причины таких движений и деформаций».*

Под *линеаментами* (согласно [4]) понимаются спрямленные системно-упорядоченные элементы в структуре земной поверхности, образующиеся за счет градиентных зон поля напряженно-деформированного состояния горных пород под действием разноранговых геодинамических процессов. В их пределах могут формироваться элементы пликативной структуры, а при превышении уровня порога прочности горных пород – зоны отрывных и сдвиговых деформаций (*флексуры, флексурно-разрывные деформации, разломы, зоны повышенной трещиноватости и т.п.*).

«Проявление» линеаментов (зон разломов) на материалах дистанционного зондирования определяется суперинтенсивными деформационными (СД) процессами в

---

\* По предложению рецензента, статья публикуется как дискуссионная.

разломной зоне, вызванными малыми воздействиями экзогенного или эндогенного происхождения и приводящими к резкому нелинейному усилению деформаций в поле напряженно-деформированного состояния окружающих горных пород (Ю.О. Кузьмин, 1999 г.). Важными особенностями СД–процессов являются пульсационный характер их проявлений во времени и образование на земной поверхности зон локальных просадок и поднятий. Активизация аномальных деформационных процессов в разломной зоне приводит к изменению ландшафтных условий на земной поверхности, которые отличаются по цвето-тоновым характеристикам отражения.

В связи с тем, что в структуре земной поверхности могут отражаться различные направления простираения линеаментов (зон разломов), сформировавшихся за счет наложения разновременных региональных и локальных геодинамических процессов, поэтому для установления их генетической структурной унаследованности в пространстве от ранних геологических эпох необходимо изучить геотектоническое строение территории в региональном масштабе.

При разработке методики структурного дешифрирования нефтегазоносных территорий, по принципу «от общего к частному» [5–6], необходимым условием было выявление не отдельных, взаимонезависимых и хаотично распределенных линеаментов, а их связи с системами разломных зон, свойственных данному масштабу изучаемого региона. Важным результатом разработанной методики с использованием мелко- и среднемасштабных космических снимков было обнаружение упорядоченности и подобия разноранговых систем линеаментов по их ширине и размеру блоков [7]. Соотношение соседних рангов численно равно трем.

Близкий результат при анализе природных объектов был получен в работах В.В. Пиотровского, В.Ю. Забродина, В.Д. Наливкина и др., где также определено геометрическое подобие блоковых структур с кратностью около трех.

Целью исследований автора данной статьи является развитие обобщенных представлений о формировании первичных геометрически подобных блоковых структур в земной коре под влиянием геодинамических процессов, происходивших на ранних стадиях развития Земли и явившихся определяющим фактором в последующем образовании блоковых систем в структуре осадочного чехла. Также на основе модельных физических экспериментов при деформировании искусственных материалов были выявлены закономерности образования многограновой дискретной структуры,

сформированной зонами трещиноватости, которая сопоставлялась с пространственной структурой разноранговых зон разломов.

### **Роль эндогенных докембрийских процессов в образовании региональных морфоструктур земной коры**

Если обратиться к трудам исследователей, изучавших периоды тектонической активизации в докембрии и создавших методики восстановления условий развития минералого-генетических ассоциаций пород в архее и протерозое, а также физических обстановок их образования, то, по их данным, проявление глыбового (блокового) тектогенеза стало возможным лишь с возникновением мощной стабилизированной земной коры.

Отличительной чертой протоплатформенного геодинамического режима, по данным таких исследователей, как Д. Грин и А.Е. Рингвуд, Л.И. Салоп, Чень-Гога, Г.Ф. Мирчинк, А.Д. Щеглов, В.И. Казанский, В.В. Белоусов, В.Е. Хаин, Л.В. Григорьева и др., является период докембрийской тектоно-магматической активизации, господствующий на континентах 2,6–2,0 млрд лет назад. Данное явление отражает глобальное распространение и сходные признаки структурных особенностей земной коры в различных регионах, проявившиеся после образования достаточно мощной слоистой континентальной коры в заложении прогибов и впадин.

Рубеж 2,0–1,9 млрд лет тому назад ознаменовался резким усилением и качественным изменением геодинамической обстановки, что проявилось в конце раннего и в позднем протерозое импульсивной вулcano-плутонической деятельностью в интервалах с максимумами  $(1,9-1,6) \pm 0,1$ ;  $(1,4-1,3) \pm 0,1$ ;  $1,0 \pm 0,1$ ;  $0,8-0,78$  и  $0,68-0,65$  млрд лет назад [8].

Магматические явления имели место на фоне глыбового тектогенеза, которому сопутствовали сводовые воздымания поверхности Мохоровичича и нижних горизонтов земной коры, сформировавшие, в свою очередь, аркогенные поднятия (кратоны), в пределах которых развивались линейные грабенообразные прогибы, с контрастными блоками сиалического и фемического типа. Эти геодинамические процессы приводили к возникновению линейных деструктивных элементов в земной коре, где разломы играли большую роль в стабилизации земной коры как зоны энергетической разгрузки. По мнению Л.В. Григорьевой [8], вертикальное воздействие плутонических мантийных процессов на континентальную кору предшествовало образованию таких тектонических структур, как авлакогены (рифты).

Все приведенные выше этапы вулcano-плутонических процессов докембрия характеризовались постепенным затуханием их активности, прерывающейся периодами относительного покоя.

Резюмируя изложенные выше представления авторов, необходимо выделить роль мантийных геодинамических процессов в усложнении тектонического строения земной коры и литологического преобразования ее пород [9]. Также необходимо отметить, что в послекембрийский период в ее истории не было столь интенсивных тектоно-магматических процессов без предварительной геосинклинальной стадии подготовки, выразившихся в относительно широком и активном проявлении магматических событий.

Докембрийский этап развития Земли привел к возникновению мощной стабилизированной земной коры и в дальнейшем в ней могли происходить глыбовый тектогенез, дифференциация магматических расплавов и длительная «эволюция» гидротерм [8]. Последующие этапы преобразования земной коры привели к формированию осадочных бассейнов, развитию нового глобального процесса в эволюции литосферы.

Важно подчеркнуть, что в формирование структур земной коры большую роль играют куполообразные поднятия, созданные глубинными геодинамическими процессами, характеризующиеся вертикальными движениями. К ним относятся крупные плутоны, структуры нагнетания, а также разнонаправленные движения блоков фундамента, для которых характерной особенностью является образование раздвиговых деформаций горных пород. Развитие горизонтальных сдвиговых деформаций в пределах региональных куполообразных структур является вторичным результатом или проявлением гравитационной тектоники [10]. Из основ механики известно, что при деформации пород энергия, затрачиваемая на отрыв, всегда меньше, чем при реализации на сдвиг, а, следовательно, развитие отрывных зон разломов энергетически выгоднее, чем сдвиговых.

Эндогенные процессы, с одной стороны, предопределяя развитие глобальных, региональных и локальных тектонических структур, характеризуются неравномерностью распределения в пространстве скоростей деформирования пород в земной коре. С другой стороны, взаимный эффект этих полей деформаций приводит к пространственной самоорганизации тектонических структур и их ориентации в пространстве на разных масштабных уровнях. Таким образом, в морфоструктурных элементах земной

поверхности может проявляться унаследованность и их масштабная соподчиненность со структурами высших порядков [11].

В формировании разномасштабных тектонических структур пликативного и дизъюнктивного типов в осадочном чехле платформенных территорий главную роль играли процессы разнонаправленные вертикальные блоковые движения, которые отражали циклический и часто унаследованный характер геодинамических процессов в зонах палеодеструкций земной коры.

Характерной особенностью структурной неоднородности геологических объектов литосферы являются зоны разноранговых разломов, которые, образуя пространственно-временную разномасштабную разломно-блоковую структуру, способны сохраняться за счет параметрически индуцированных деформаций, происходящих в самих разломных зонах [2].

### **Особенности структурного строения земной коры**

Автор данной статьи разделяет взгляды таких исследователей, как Е.В. Карус, Ю.М. Саркисов, И.С. Вольвовский, Б.С. Вольвовский, П.М. Бакман и др., касающиеся представлений о первопричинах формирования большинства типов поверхностных тектонических структур материковой коры, в которых мог происходить процесс внедрения серпентинизированных ультрабазитов между базальтовым и гранитным слоями на этапах мантийной активизации (глобальных геодинамических событий).

Обобщение геофизических данных показывает, что таким структурам, как молодой рифт, вулканический пояс на срединном массиве, эвгеосинклинальная зона, на разных глубинах отвечают поднятия (выступы) мантийных астенолитов.

Более тридцати лет назад глобальной корреляции разрезов литосферы уделялось самое серьезное внимание в рамках как международных геодинамических проектов, так и национальных программ научных исследований многих стран. Результаты этих исследований привели к коренному пересмотру классической геосинклинальной теории и созданию новой системы взглядов, сформулированной под общим названием – новая глобальная тектоника.

Отмечая крайнюю дискуссионность (даже в сегодняшнее время) этой концепции для ранней истории Земли, Ю.М. Саркисовым и И.С. Вольвовским [12] в конце 80-х годов была предложена альтернативная модель, базирующаяся на трехслойной структуре современной земной коры и основывающаяся на методе парной корреляции сейсмических

разделов  $K_0$  с  $K_1$  и  $K_2$  с  $M$ . Это в свою очередь подчеркивает принадлежность таких пар к двум слоям с их вертикальной расчлененностью по данным динамических и кинематических характеристик сейсмических волн различного класса (рис. 1 ).

По мнению этих авторов, в скоростном разрезе кристаллического основания континентальной коры обнаруживается такая важная особенность, как отчетливое проявление двух независимых друг от друга систем субвертикальных зон, которые расчленяют верхний и нижний скоростные комплексы пород на глыбы разных размеров, разделенные средним цельнослоистым комплексом. Данный комплекс имеет связь (в виде питающих каналов) с подкоровым субстратом и его разгрузкой в отдельных активных зонах в пределах верхней части коры.

Предложенная этими авторами модель остается перспективной для обоснования процессов образования подвижных зон Земли, их современного строения и состава. По мнению этих авторов, она также позволяет объяснить связь длительных в геологическом времени процессов подъема поверхности Мохоровичича (за счет мантийных диапиров) и более быстрых процессов внедрения серпентинизированных ультрабазитов в гранитный слой и осадочный чехол, подъем глубинных растворов и процессов дегазации Земли, формирование горноскладчатых сооружений, рифтовых систем, [9]. В связи с этим большинство структур на платформах, в подвижных и в переходных зонах активного типа будут преимущественно образовываться за счет разнонаправленных вертикальных движений блоков нижней и верхней коры, находящихся в стесненных условиях (горизонтального сжатия), что, по мнению автора данной статьи, исключает процесс субдукции. Данные движения могут осуществляться за счет интенсивного их взаимодействия в поле горизонтальных напряжений со своим аналогом – слоем серпентинизированных ультрабазитов коры континентов.

#### **Кратоны Африканского континента как показатель единой структуры региона**

В работе Б.Б. Брока [13] рассматривается структура Африканского континента с позиции кратонов (рис. 2а), осложненных рифтовыми системами. Данную модель автор приводит для понимания общей тектонической структуры континента, отмечая, что земная кора должна быть гармонично связана с происходящими в верхней мантии вертикальными движениями, которые определяют формы кратонов и размеры рифтов. Важной их характеристикой, на примере структуры Кратона рифтовых долин, являются

упорядоченные линейные элементы, также четко выраженные во всех структурах кратонов Африканского континента.

На рис. 2б показан Кратон рифтовых долин, который представлен как крупный блок, окруженный другими жесткими блоками, границы между которыми представлены геологическими телами разного возраста, состава и генезиса. Эти прилегающие структурные элементы характеризуются:

- 1) с запада – погруженным фундаментом впадины Конго;
- 2) с северо-запада – зоной гранитизации, резко срезающей систему разломов Кибали;
- 3) с севера и северо-востока – границей впадины Газаль, представленной областью развития абиссинских базальтов, и Сомалийским блоком;
- 4) с востока – прогибом Джуба, граничащим с прибрежной равниной;
- 5) с юго-востока – зоной разломов Тундуру;
- 6) с юго-запада – границей блока Бангвелу.

Рассматривая все эти элементы, примыкающие к Кратону рифтовых долин, можно с уверенностью утверждать, что границами этих элементов являются крупные разрывные нарушения.

В работе [13] автор, пытаясь объяснить упорядоченность структуры данного региона, предполагает наличие связи зон разломов с зонами линеаментов, которые носят обобщающий структурный характер и проявляются в виде фрагментарных линейных объектов, имеющих широтное и меридианальное простираение.

На основе разработанных автором данной статьи методических подходов к структурному дешифрированию материалов аэрокосмических съемок с применением линеаментного анализа [10, 14, 15] данных о территории Африканского континента приведена схема линеаментов диагональной структуры (рис. 3а), где для данного масштаба исследований показаны линеаменты двух рангов. Данные линейные зоны хорошо сопоставляются с границами кратонов, представленных на рис. 2а.

Показанная структура линеаментов в плане отражает блоковое строение Африканского континента, представляющего собой совокупность закономерно упорядоченных ранжированных систем блоков, проявленных в породах фундамента и осадочного чехла [14].

Приведенная в работе [13] структура линеаментов С-З и С-В простирания на территории Кратона рифтовых долин (рис. 3б), так же как и на рис. 3а, разделяет его на 9 более мелких блоков, с размерностью, равной трем.

Особенностями пространственного расположения линеаментов на рис. 3а и 3б являются их совпадение с зонами разрывных нарушений разного ранга, а также близкие по величине расстояния между ними.

### **Особенности формирования многогранговой дискретной структуры в образцах композитных материалов при их деформировании**

Представления об образовании иерархических структур блокового характера в земной коре и осадочном чехле платформенных и орогенных регионов носят дискуссионный характер, с точки зрения размерности блоков и разделяющих их зон. Эти вопросы обсуждались в ряде публикаций (В.В. Пиотровский, 1964 г.; Ю.А. Косыгин, 1969 г.; С.Н. Чернышов, 1983 г.; Ю.Я. Ващилов, 1984 г.; М.А. Садовский и др., 1987 г.; С.И. Шерман, 1996 г.; Т.П. Белоусов и др., 1997 г.; Д.В. Рундквист, 2004 г.; С.В. Гольдин, 2002 г.; Г.Г. Кочарян, А.А. Спивак, 2003 г.; К.Ж. Семинский, 2008 г.).

Установление иерархического характера линеаментных систем на земной поверхности является, безусловно, ключевым звеном их геодинамической и геоморфологической интерпретации.

Под структурной *иерархией* в данном случае понимается принцип организации геодинамической системы, характеризующий взаимную корреляцию и соподчинение разноуровневых деформационных процессов, реализующихся в геометрически подобных элементах его структуры при потере прочности материала.

На стадии выделения линеаментов методом структурного дешифрирования исследователь опирается в большей степени на существующую тектоническую концепцию, а также на факты зрительных ассоциаций и собственную интуицию, чем на понимание последовательного формирования пространственно-временных закономерностей разломно-блоковых систем. При этом большинством исследователей изучение структурных закономерностей блокового строения природных объектов проводится на этапе современного состояния, когда данные объекты уже испытали длительное воздействие (в геологическом времени) разномасштабных геодинамических факторов. Поэтому понимание структурной иерархии, проявляющейся в природных геологических объектах, должно основываться также и на результатах физического моделирования, отражающего стадийность данного явления.

В работе [16], которая посвящена физическому моделированию стадий образования дискретной структуры деформирования образцов из композитных материалов, отражены результаты изучения формирования иерархической структуры блоков и разделяющих их границ (трещин). Отношение среднегеометрических размеров сопредельных блоков близко к трем.

Важно отметить, что при постановке данных исследований предполагалось, что образование многогранговой структуры в образцах из композитных материалов можно обеспечить, если образец испытывает (до макроразрушения) значительные пластические деформации.

Для изготовления образцов применялась эпоксидная смола марки ЭД-16 с полиамином в качестве отвердителя. Образцы изготавливались в виде прямоугольных призм двух размеров (50x20x20 мм, 15x7x7 мм) или цилиндров (высотой 50, 15 мм и диаметром 20,7 мм) и испытывались в условиях одноосного сжатия, прикладываемого вдоль длинной оси. Так как эпоксидная смола является двухкомпонентной, то при смешивании она содержит множество воздушных пузырьков. С целью уменьшения их содержания и размеров выбранный режим перемешивания смолы и отвердителя производился в вакууме при температуре 5–10 °С. После затвердевания образца количество воздушных пузырьков в нем составляло 150–200 в 1 см<sup>3</sup>. Нагружение образцов происходило при постоянной скорости деформирования  $2 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ .

На рис. 4 приведен график, характеризующий параметры нагрузки в зависимости от времени и стадии деформации образца. При этом отчетливо наблюдаются четыре уровня самоподобных блоковых структур. Утолщение полос межблоковых зон на стадии III-IV происходило за счет объединения образовавшихся трещин более низкого ранга, но при этом порядок делимости оставался таким же. Следует подчеркнуть, что изменение пластичности образцов за счет различного содержания отвердителя приводило в экспериментах к незначительному смещению среднегеометрических размеров блоков ( $l$ ), но не влияло на величину отношения  $l_{i+1}/l$ , равную 3. По данным [16], необычным является устойчивость величины отношения  $l_{i+1}/l$  вне зависимости от формы и размеров образцов.

Также на рис. 5 показана фотография стадии II-III, где в качестве локальных неоднородностей зарождения трещин при деформировании образцов служат равномерно распределенные по объему пузырьки воздуха.

В проведенных экспериментах появляющиеся трещинки отрыва на образце возникали не из всех, а только из отдельных пузырьков с образованием ромбовидной структуры. Видимые на рис. 5а полосы (трещины), разделяющие блоки, на последующих стадиях испытания образцов состояли уже из серии параллельных тонких полос, которые объединялись в более крупные трещины сдвигового типа.

Среднегеометрический размер стороны блоков  $l=(l_{\max} - l_{\min})^{1/2}$  составлял для образцов как цилиндрических (высотой 50 и 15 мм), так и призматических (высотой 50 мм) одну и ту же величину – 0,75 мм.

В образцах меньшего размера (призмы высотой 7 мм) наблюдались два уровня иерархии. Сначала на II-ой стадии деформирования появлялись блоки со средним размером  $l=0.25$  мм. Затем они делились в течение III-й стадии на более мелкие блоки размером около 0,075 мм (рис. 5б). Степень деформации образца, соответствующая стадии II, составляет всего 6–16%.

Таким образом, при использовании образцов двух вышеуказанных размеров отчетливо наблюдались четыре уровня организации геометрически подобных блоковых структур. Утолщение полос на стадиях III–IV происходило уже за счет объединения образовавшихся мелких трещинок более низкого ранга.

### **Выводы**

Существующие представления о формировании блокового строения земной коры, приведенные в данной работе, позволяют судить о последовательности геодинамических стадий формирования первичных структурных форм и их дальнейшего преобразования и усложнения за счет накопления напряжений в структурных неоднородностях в виде разноранговых зон разломов. Важным является то, что первичные структуры характеризуются определенной иерархией размеров блоков и разделяющих их границ, а также подобием геометрических форм в поле напряжений, контролирующем пространственные закономерности простирания разломных зон.

Как известно из работ Ю.О. Кузьмина (1999, 2004, 2009, 2013, 2016) по современной геодинамике разломных зон, активизация последних (деформация в разломной зоне) может быть вызвана параметрически индуцированным воздействием экзогенных и эндогенных факторов. Данный процесс приводит к унаследованному развитию зон разломов в породах земной коры и осадочного чехла, формированию в ландшафте разноранговых систем линеаментов.

В ходе сопоставления результатов комплексных геолого-геофизических, геодинамических наблюдений и линеamentного анализа с методами физического моделирования обнаруживается закономерность блоковой делимости земной коры и осадочного чехла, близкая к трем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьмин Ю.О.* Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Геологическое изучение и использование недр. 1996. № 4. С. 43–53.
2. *Кузьмин Ю.О.* Актуальные проблемы идентификации результатов наблюдений в современной геодинамике // Физика Земли. 2014. № 5. С. 51–64.
3. *Тэркот Д., Шуберт Дж.* Геодинамика (Геологические приложения физики сплошных сред). М.: Мир, 1985. Т. 1–2. 730 с. (Пер. с англ.).
4. *Никонов А.И.* Роль геодинамических процессов в функционировании подземных хранилищ газа (на примере Щелковского и Касимовского подземных хранилищ) // Автореф.... дис. канд. геол.-минерал. наук. М., 2003. 24 с.
5. *Кравцов В.В., Никонов А.И.* Системно-иерархическая структура полей напряжений и ее отражение на аэрокосмических снимках на примере Самотлорского месторождения (Черногорская площадь) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 1996. № 8–9. С. 18–21.
6. *Кравцов В.В., Никонов А.И.* Геодинамическая цикличность как фактор потенциальной аварийной опасности природно-техногенных систем в нефтегазоносных районах // Нефтепромысловое дело. 1996. № 8–9. С. 20–23.
7. *Кузьмин Ю.О., Никонов А.И.* Современная геодинамика разломов – новый аспект формирования линеamentных систем // Путь науки. 2016. № 6. С. 89–94.
8. *Григорьева Л.В.* Докембрийская тектоно-магматическая активизация: (геология и металлогения). Л.: Недра, 1986. 222 с.
9. *Никонов А.И.* Роль рифтогенеза в формировании месторождений углеводородов и их структурной неоднородности // Вести газовой науки. 2012. № 1(9). С. 101–112.
10. *Никонов А.И.* Тектонофизические аспекты структурного дешифрирования линеamentных систем // Современная тектонофизика. Методы и результаты. М.: ИФЗ РАН, 2011. Т. 2. С. 78–93.

11. *Пиотровский В.В.* Использование морфометрии для изучения рельефа и строения Земли // Земля во Вселенной. М.: Мысль, 1964. С. 278–297.
12. *Саркисов Ю.М., Вольвовский И.С.* К вопросу о корреляции разрезов земной коры континентов и океанов // Тектоника платформенных областей. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1988. С. 173–180.
13. *Брок Б.Б.* Рифтовые долины кратона // Система рифтов Земли / Под ред. Н.А. Беляевского: Тр. Симп. Оттава (Канада) 4–5 сентября, 1965 г. М.: Мир, 1970. С. 74–91.
14. *Кузьмин Ю.О., Никонов А.И., Шаповалова Е.С.* Особенности структурного дешифрирования линеаментов с учетом современной геодинамики разломов [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2016. № 1(13). 21 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 28.07.2017).
15. *Камаева С.С., Никонов А.И., Горошевский В.П., Белотелов В.Н.* Особенности диагностики трубопроводов комплексом дистанционных методов на основе линеаментного анализа и магнитной томографии // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2016. № 6. С. 54–60.
16. *Асотрян Х.О., Соболев Г.А.* Образование иерархической структуры разрывов при деформировании высокопластического материала // Физика горных пород при высоких давлениях. М., 1991. С.138–141.

ПРИЛОЖЕНИЕ

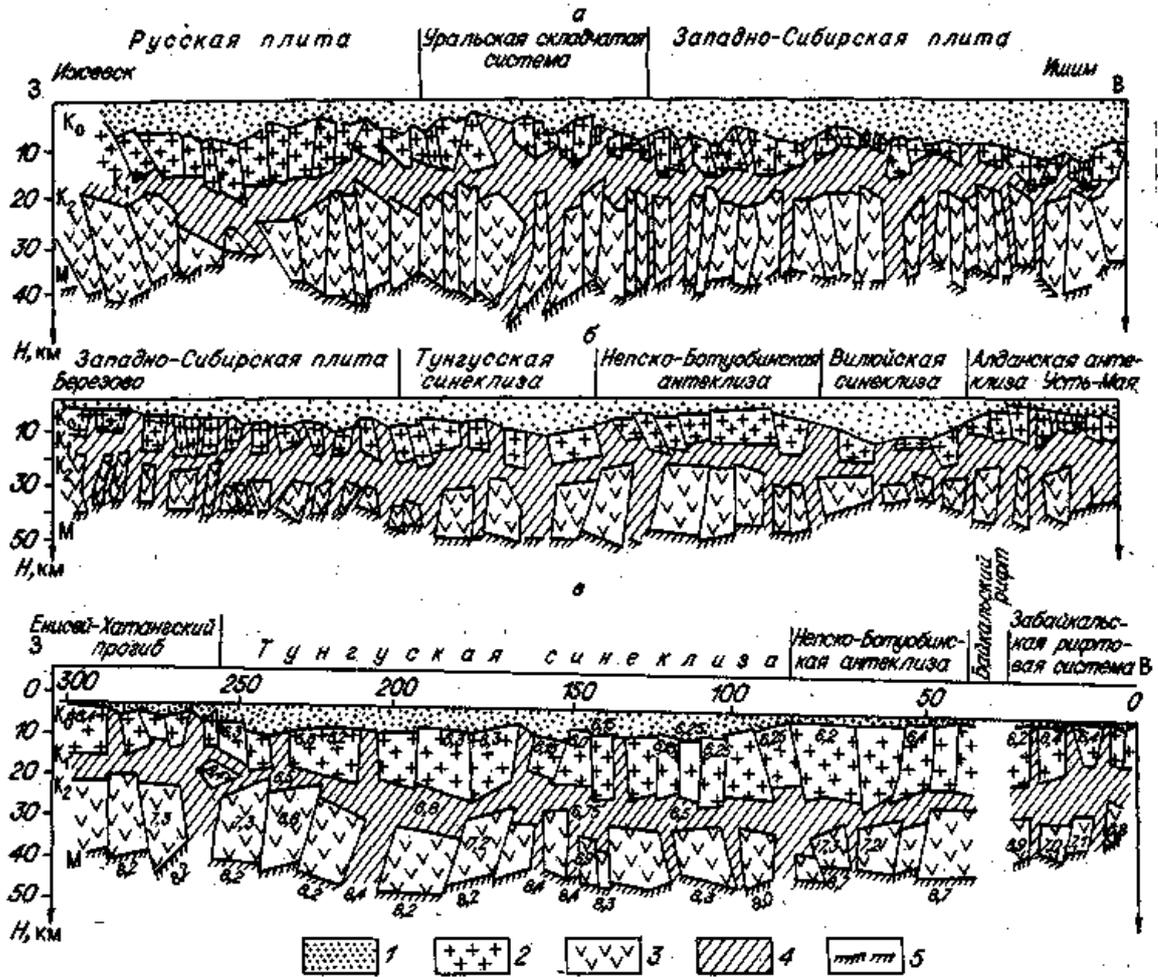
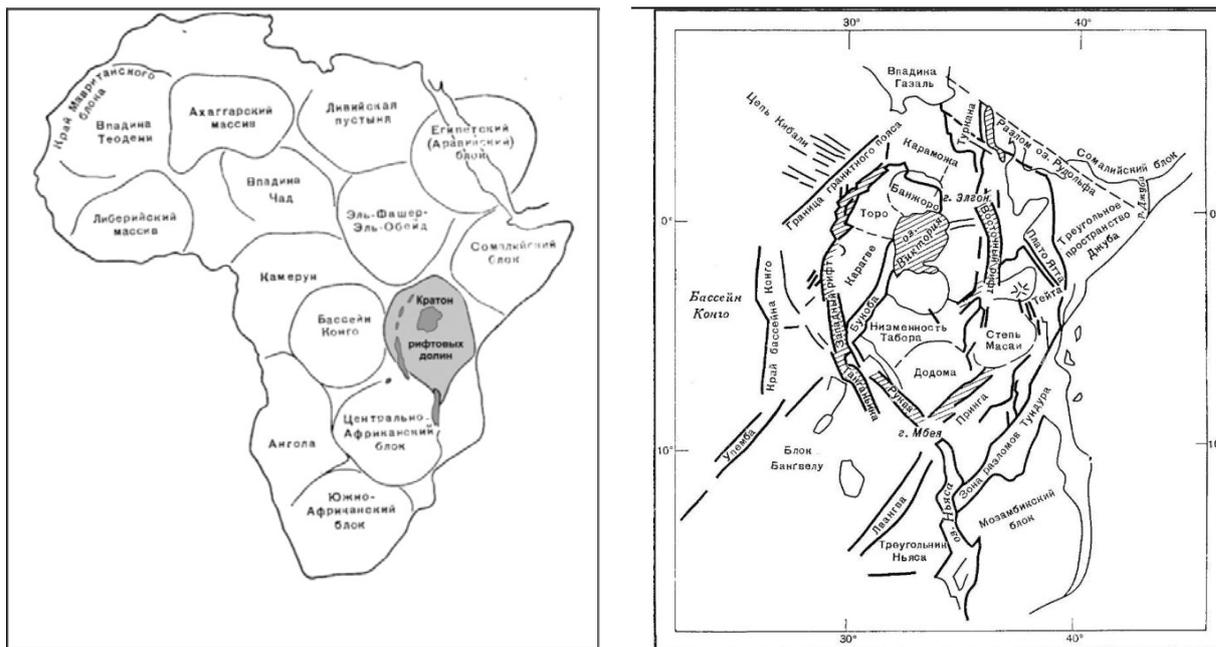


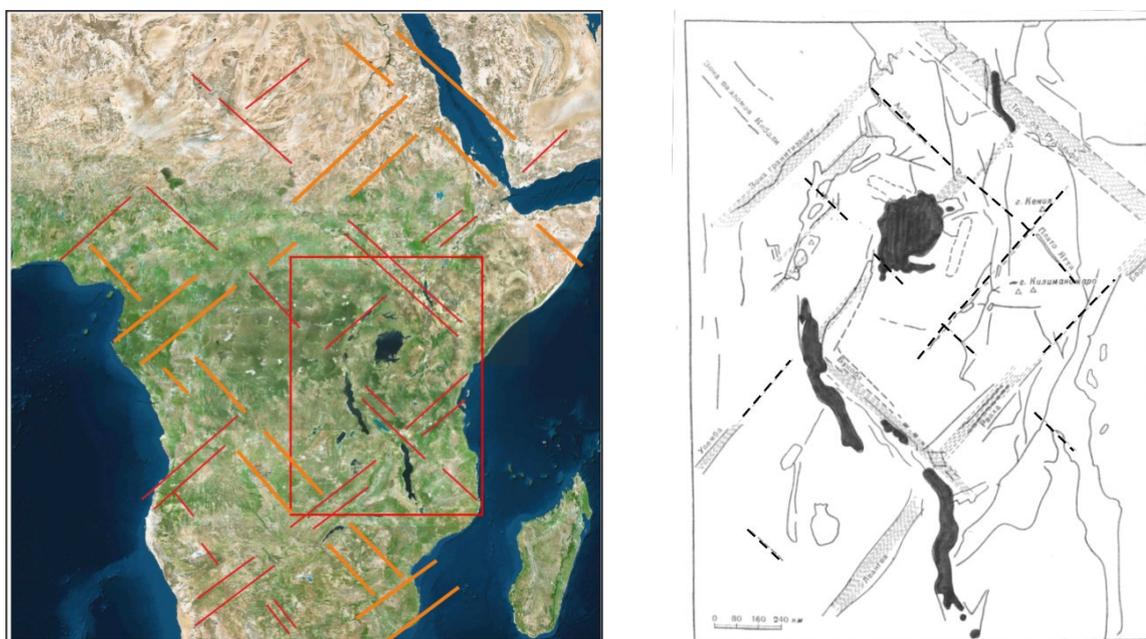
Рис. 1. Разрезы ГСЗ–МОВЗ: а) Ижевск–Ишим; б) Березово–Усть-Мая; в) Диксон–Байкал. Геологическая интерпретация [2]

1 – вулканогенно-осадочный комплекс ( $V_{пл} = 3,5-5,5$  км/с); 2 – гранито-гнейсовый комплекс ( $V_{пл} = 5,8-6,3$  км/с); 3 – гранулитно-базальтовый комплекс ( $V_{пл} = 6,9-7,2$  км/с); 4 – слой серпентини-зированных ультрабазитов ( $V_{пл} = 6,5-6,8$  км/с); 5 – подкоровый субстрат ( $V_{пл} = 8,0-8,2$  км/с).  $K_0$  – кровля гранито-гнейсового комплекса (поверхность кристаллического фундамента);  $K_1$  – подошва гранито-гнейсового комплекса (обменная граница А);  $K_2$  – кровля гранулитно-базальтового комплекса (граница Конрада); М – подошва гранулитно-базальтового комплекса (граница Мохоровичича)



а) б)

Рис. 2. Региональное и зональное строение Африканского континента (по Б.Б. Броку): а) схема строения Африки, на которой в качестве основной структурной единицы принят кратон; б) схема расположения смежных структур вокруг кратона рифтовых долин



а) б)

Рис. 3. Структурное дешифрирование с кратностью 3: а – разноранговых линеаментов диагональной системы Африканского континента с привязкой к территории кратона рифтовых долин (по А.И. Никонову); б – линеаменты СВ-СЗ простираения на территории кратона рифтовых долин, показанные прерывистыми линиями (по Б.Б. Броку)

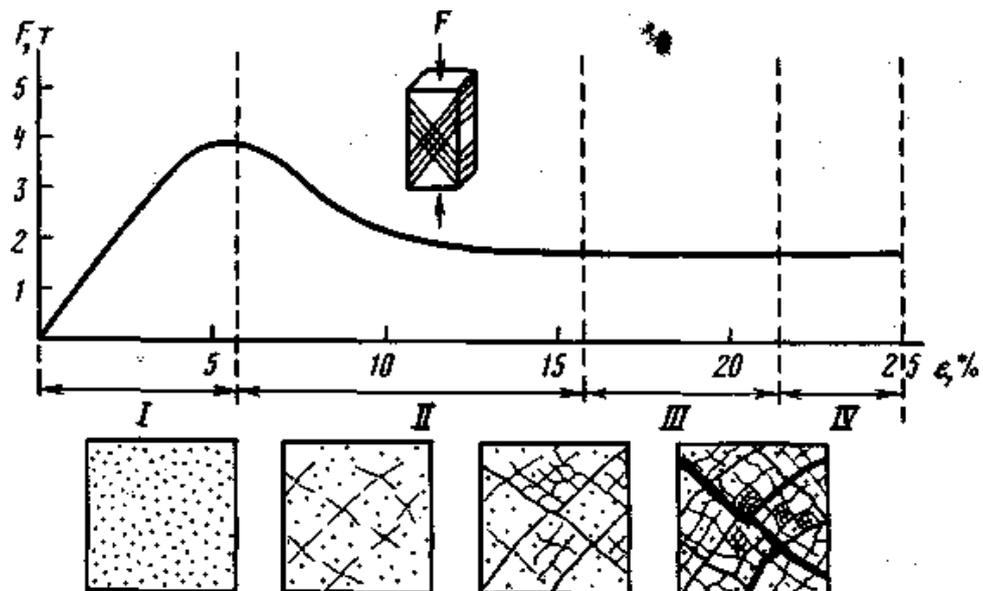


Рис. 4. График кривой нагрузки ( $F$ ) от времени и стадии деформации образца эпоксидной смолы (I–IV), демонстрирующие развитие блоковой структуры трещин в плане

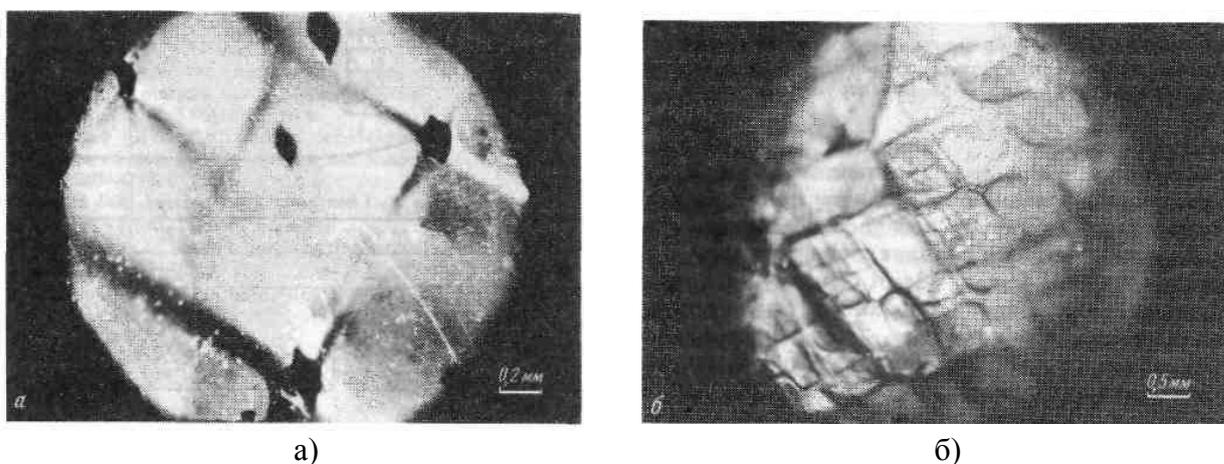


Рис. 5. Фотографии вертикальных разрезов образцов, полученных после деформирования до середины стадий II (а) и III (б), см. рис. 4