УДК 551.24+550.83 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-1-52-59

О подобии и иерархии тектонических структур

Филатов В. В.[1], Болотнова Л. А.[2]
[1] Владимирский государственный университет
(Россия, г. Владимир, ул. Горького, 87)
[2] Уральский государственный горный университет
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Реферат

Предмет и цель работы. *Особое место среди большого разнообразия структурно-тектонических элементов земной коры принадлежит разрывным нарушениям различных рангов и типов. Они образуются тогда, когда напряжения превышают пределы прочности геологической среды на сжатие, растяжение или сдвиг. Поэтому изучение разрывных нарушений как в геологическом, так и в физическом отношении невозможно без знания закономерностей разрушения твердых тел применительно к изучению закономерностей образования тектонических структур.*

Методология. *Аналитический обзор и обобщение результатов деформирования образцов горных пород, различных динамических явлений (землетрясения, горные удары и др.), тектонических нарушений различных рангов.*

Результаты. *Важнейшей закономерностью образования тектонических нарушений является их подобие на различных масштабных уровнях и, как следствие, иерархичность. В качестве примера этой закономерности рассмотрена ортогональная система глубинных разломов Урала. Доказано, что глубинные разломы различных рангов формируют вытянутые в меридиональном направлении блоки прямоугольной формы, размеры которых образуют геометрическую прогрессию с показателем, равным двум.*

Выводы. *Закономерности тектонической делимости геологической среды являются основанием для их использования при картировании разломных структур различных рангов (особенно высоких) в закрытых районах с помощью площадных высокоточных геофизических измерений.*

Ключевые слова: *тектонические структуры; подобие; иерархичность; естественное поле напряжений; геофизические поля.*

Введение. Из большого количества работ, посвященных проблеме подобия и иерархии тектонических структур следует прежде всего выделить статью А. Н. Колмогорова «О логарифмически нормальном законе распределения частиц при дроблении» [1]. В этой статье впервые теоретически показано, что при разрушении твердых тел зависимость $N = f(L)$, где N – количество частиц, образующихся при разрушении; L – произвольный размер частицы, является линейной в билогарифмической системе координат $\lg N$, $\lg L$. Это свидетельствует о том, что разрушение твердых тел подчиняется закону подобия, а следовательно, фрагменты раздробленных объектов должны образовывать иерархические последовательности.

Методика проведения исследований. Теоретические результаты о закономерности разрушения твердых тел подтверждаются данными, полученными при изучении разрывных нарушений [2–12], из которых следует, что земная кора расчленена системами ортогональных разрывов и разломов различных рангов на блоки, размеры которых изменяются от нескольких сантиметров до десятков, сотен и тысяч километров. При изучении планетарной трещиноватости [3] и систем разломов Внутренней Азии и сопредельных территорий [6] установлено, что формирование разломов разного ранга совершалось по единому закону [13], что процесс разрушения мало зависит от вещественного состава пород, что подчи-

ненную роль играют и структурные элементы. Так, например, простирание планетарной трещиноватости едино и в платформенных, и в складчатых областях.

Результаты изучения соотношений между длинами разломов различных рангов и расстояниями между ними, длинами разломов и их числом показало, что расстояние между разломами и числом блоков, на которые разделена земная кора, описывается гиперболической зависимостью, т. е. линейной в билогарифмическом масштабе [14]. Статистический анализ микродеформаций образцов различных пород показал, что картина их распределения как по совокупности площадок в пределах одного образца, так и по множеству образцов одной породы подобна [15]. Корреляционная зависимость между коэффициентом делимости геологической среды и коэффициентом затухания трещиноватости в зонах влияния тектонических нарушений является гиперболической [16].

В [17] описаны результаты прямых и косвенных измерений блоков, на которые делится среда в естественных и искусственных процессах ее деформирования: реологический взрыв, измельчение торфа, протравливание кварца, дробление пород подземными взрывами, разрыхление пород взрывами в карьерах, измерение неоднородностей пород сейсмическим методом при строительстве ГЭС, определение блоков земной коры, сейсмоакустическое зондирование геологической среды и др. Анализ результатов этих исследований показал, что геологическая среда имеет иерархическую структуру, что «в природе существует некоторая общая причина, вызывающая появление преимущественных величин в распределении блоков по размерам. По отношению к этой причине свойства материала или способ образования отдельностей играют подчиненную роль … процесс расчленения среды на отдельности имеет общий характер» [17, с. 50–52].

Этот «общий характер» есть проявление закона подобия при деформировании твердых тел вообще или в геологическом плане – в образовании разрывных нарушений и блоков, границами которых служат эти разрывные нарушения.

Разрывные нарушения образуются под действием напряжения. Естественное поле напряжений земной коры представляет собой суперпозицию остаточных напряжений и напряжения, обусловленного физическими полями Земли, главным образом полем силы тяжести. На закономерности пространственно-временного изменения естественного поля напряжений оказывает влияние взаимодействие слагающих кору структурно-тектонических элементов – блоков.

Остаточные или палеонапряжения обусловлены свойством твердых тел накапливать в себе упругую энергию и сохранять ее, т. е. находиться в равновесии в течение длительного промежутка времени при отсутствии нагрузок на поверхностях, ограничивающих тела. Эти напряжения называются структурными [18]. Структурно-тектонические элементы коры связаны между собой. Благодаря этим связям и возникают структурные напряжения как несоответствие «между фиксированной структурой тела и его термодинамическим состоянием» [18, с. 48]. Поэтому структурные напряжения возникают на любом иерархическом или масштабном уровне: и на микроструктурном, и на уровне планетарных геологических объектов, т. е. структурные напряжения, как и блоки коры, образуют иерархические системы.

Напряжения, источниками которых служат силовые поля Земли, проявляются в разнообразных характеристиках сейсмических явлений. Изучение землетрясений показывает, что в пространственной и энергетической характеристиках сейсмического процесса тоже наблюдается иерархичность [17]. Из зависимости между размерами очага землетрясения и его энергией следует, что процесс разрушения горных пород в очаге является подобным [19]. Данные, приведенные на рис. 1, свидетельствуют об иерархичности современных полей напряжений для динамических явлений различного масштаба.

Реальность существования иерархических систем полей палео- и современных напряжений установлена многими исследователями при изучении геологических и геофизических данных, анализе результатов непосредственных измерений напряжений, при выполнении физического и математического моделирования различных динамических явлений [20–23]. Физической основой иерархичности полей напряжений служит иерархическое строение геологической среды. Отсюда следует ряд важных в методическом отношении выводов:

– масштаб решаемой структурно-тектонической задачи должен отвечать рангу естественного поля напряжения;

– главные направления (оси) напряжения полей высшего и низшего рангов связаны между собой;

– смещения (горизонтальные, вертикальные, восходящие, нисходящие) по разрывным нарушениям различного ранга происходят под действием напряжений соответствующего ранга.

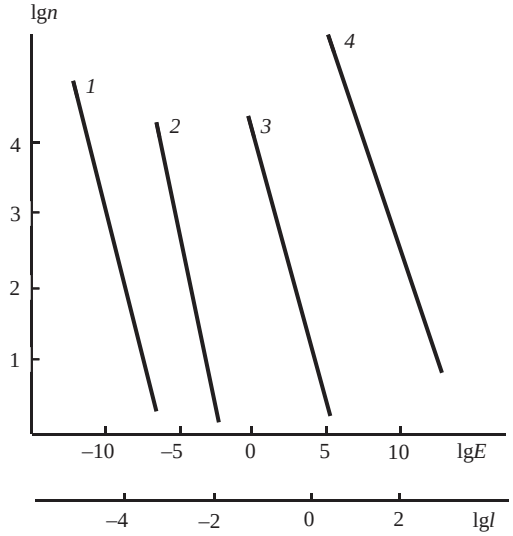

Рис. 1. Повторяемость *n* выделения упругой энергии *E* для акустических сигналов при деформировании образцов гранита – *1*; при разрушении целика – *2*; при горных ударах в горных выработках СУБРа – *3*; при землетрясении в районе Нурекской ГЭС – *4*; *l* – длина разрывного нарушения (по Куксенко В. С. [12])

Fig. 1. Recurrence of *n* releases of *E* strain energy for acoustic signals at the deformation of granite samples – *1*; at pillar destruction – *2*; at rock bumps in mine workings of the North Ural Bauxite Mine – *3*; during the earthquake in the region of Nureksky HPS – *4*; *l* – the length of the disjunctive disturbance (according to Kuksenko V. S. [12])

Выявлять поля напряжений различных рангов можно либо путем осреднения результатов их измерения, либо путем изучения характеристик этих полей методами с различной величиной базы измерений. Второй подход изучения полей напряжений реализуется путем измерения и анализа геофизических полей [25, 26], которые дают интегральную характеристику значительных объемов земной коры.

Результаты работы. Изучены подобие и иерархичность тектонических структур на различных масштабных уровнях как для всей Уральской складчатой системы, так и для отдельных ее районов [25–27].

На рис. 2 показан фрагмент схемы ортогональной системы (меридиональной и широтной) глубинных разломов земной коры Приуралья и Западного Урала, поскольку именно эта система наиболее отчетливо картируется в геофизических полях – гравитационном и магнитном.

Крупнейшим глубинным разломом (ГР) меридиональной системы Урала является Главный Уральский разлом, принятый авторами за начало ранговой делимости земной коры. Это ГР первого ранга (рис. 2, *1*). Этот разлом разделяет Уральскую складчатую область (УСО) на мио- и эвгеосинклинальную зоны; многие исследователи [21] отождествляют с разломом границу между фундаментом платформы на западе и переработанным основанием УСО и земной коры в целом – на востоке. К этому же рангу отнесен и ГР *3*, который отделяет Волго-Уральскую антеклизу на западе от восточного склона Русской плиты и примыкающей к ней миогеосинклинальной зоны Среднего и Южного Урала. Расстояние между ГР *1* и *3* составляет около 300 км.

Таким образом, меридиональные ГР *1* и *3*, образующие систему первого ранга, контролируют крупнейшие структурно-тектонические элементы строения верхней части земной коры. Образовавшись в верхнепротерозойское время, они продолжили развиваться в палеозойское и более позднее время.

Меридиональный ГР *2* отнесен ко второму рангу. Его структурное значение наиболее отчетливо проявилось в Приуралье. ГР *2* является западной границей Предуральского прогиба на Среднем и Северном Урале и восточной границей прогиба на Южном Урале. Расстояние между ГР первого и второго рангов оценено (с запада на восток) соответственно в 125 и 175 км, т. е. в среднем около 150 км, что вдвое меньше среднего расстояния между ГР первого ранга.

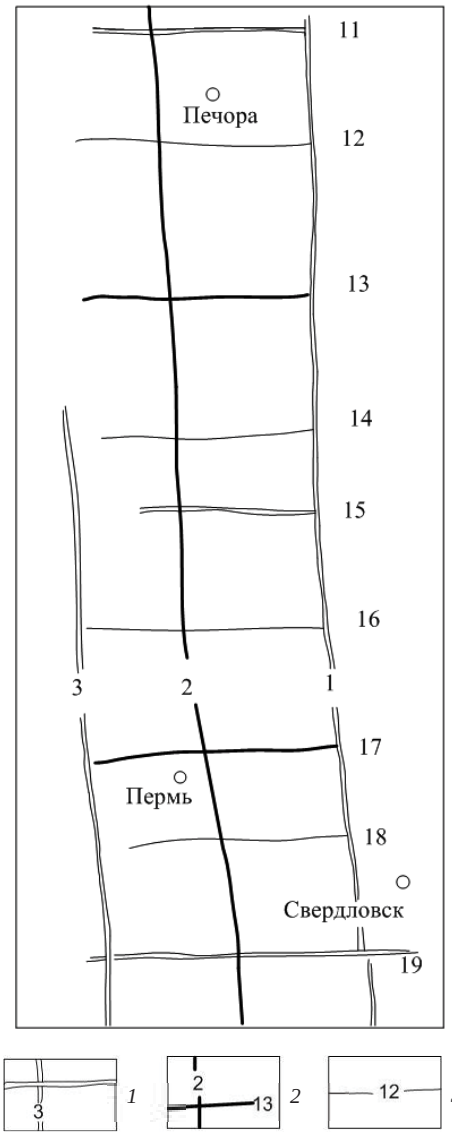

Рис. 2. Фрагмент схемы ортогональной системы глубинных разломов и блоковой делимости земной коры Приуралья и Западного Урала:
1 – глубинные разломы первого ранга и их номера;
2 – глубинные разломы второго ранга и их номера;
3 – глубинные разломы третьего ранга и их номера. Масштаб схемы 1: 10000000

Fig. 2. A fragment of the scheme of Cisurals and the West Urals earth's crust deep faults and blocky divisibility orthogonal system:
1 – deep faults of the first rank and their numbers;
2 – deep faults of the second rank and their numbers;
3 – deep faults of the third rank and their numbers. Scheme scale 1: 10000000

Стабильной по межразломным расстояниям является и система ГР широтной ориентировки с номерами 11–25. По структуро-образующей роли они классифицируются как три ранга: ГР первого ранга – 11, 15, 19, 23, расстояния между которыми в среднем равны около 590 км; ГР второго ранга – 13, 17, 21, 25, расстояния между которыми равны

в среднем 303 км; ГР третьего ранга – 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, которые делят расстояния между ГР первого и второго рангов примерно пополам; так что среднее расстояние между ГР всех рангов оценивается в 140 км.

Из результатов ранжирования ГР и анализа межразломных интервалов следует, что среднее расстояние между ГР первого и второго рангов меридиональной системы составляет 300 и 150 км; между ГР первого, второго и третьего рангов широтной системы – 590, 303 и 140 км. Таким образом, в распределении расстояний между ГР различных рангов существует закономерность, заключающаяся в том, что величина расстояния между ними подчиняется геометрической прогрессии с показателем, близким двум, т. е. ГР и ограниченные ими блоки образуют иерархическую последовательность, причиной которой служит иерархия естественного поля напряжений Земли, а ГР высоких рангов формируются на середине расстояния между ГР более высоких рангов.

Анализ и обсуждение результатов. Блоки земной коры, ограниченные системами ГР, имеют в плане форму прямоугольников, вытянутых в меридиональном направлении: разломы первого ранга образуют блоки размером 590 × 300 км, второго ранга – 303 × 150 км, третьего ранга (если бы удалось выявить ГР этого ранга) – вероятно, 140 × 70 км, т. е. блоки земной коры являются подобными, вложенными друг в друга.

Данные о закономерностях делимости земной коры установлены для многих районов. Отклонение от рассмотренной закономерности обусловлено объективными и субъективными факторами. К объективным факторам следует отнести вероятностную природу разрушения твердых тел [1] и влияние местных условий разломообразования. Например, блоки земной коры в пределах Украинского кристаллического щита изометричные, имеющие форму ромбов [28]; блоки в пределах Уральской складчатой системы в плане прямоугольные. Причина в том, что Украинский щит изометричен в плане, а Уральская складчатая система сильно вытянута в меридиональном направлении. Примером ромбической формы блоков служит Биргильдинско-Томинская рудная зона, генезис и тектоническая схема которой рассмотрены в работах [26, 27].

Выводы и область применения результатов. Субъективный фактор заключается в том, что пока не разработано критериев, позволяющих надежно оценить ранг разлома, а поэтому и нет эталонов, с которыми можно было бы сопоставлять разломы разных рангов. Особенно это касается разломов высоких рангов. Тем не менее это обстоятельство не подвергает сомнению многочисленные фактические данные о том, что тектонические структуры земной коры подобны и образуют иерархические системы. Эта закономерность позволяет изучать их даже при отсутствии четких критериев оценки рангов разломов. Закономерности тектонической делимости геологической среды являются основанием для их использования при картировании разломных структур в закрытых районах с помощью геофизических методов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колмогоров А. Н. О логарифмически нормальном законе распределения частиц при дроблении // Докл. АН СССР. 1941. Т. 31. № 2. С. 99–101.

2. Введенская И. Е., Спирин Л. Н. Планетарно-тектоническая трещиноватость западной части территории СССР // Геология и полезные ископаемые Пермского Приуралья. Пермь, 1973. С. 90–100.

3. Гамкрелидзе И. П. Планетарная трещиноватость дислоцированных толщ и связанные с ней явления // Геотектоника. 1972. № 6. С.45–54.

4. Долицкий А. В. Реконструкция тектонических структур. М.: Недра, 1978. 150 с.

5. Немец В., Квет Р. Проблемы геологических исследований. Владивосток, 1976. С. 49–56.

6. Тяпкин К. Ф. Изучение разломных и складчатых структур докембрия геолого-геофизическими методами. Киев: Наукова думка, 1986. 168 с.

7. Чебаненко И. И. Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры. Киев: Наукова думка, 1977. 83 с.

8. Шаблинская Н. В. Новые данные о глобальной сетке разломов на платформах // Докл. АН СССР. 1977. Т. 237. С. 1159–1162.

9. Шульц С. С. Планетарная трещиноватость. Л.: ЛГУ, 1973. С. 5–37.

10. Лобацкая Р. М. Структурная зональность разломов. М.: Недра, 1987. 128 с.

11. Садовский М. В., Болховитинов Л. Г., Писаренко В. Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1988. 255 с.

12. Куксенко В. С. Физические причины подобия и выделения упругой энергии при разрушении горных пород на различных масштабных уровнях // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород при землетрясениях. М.: Наука, 1987. С. 68–73.

13. Болотнова Л. А., Филатов В. В. Гравиразведка. Тектонофизический анализ гравитационного поля Екатеринбургского мегаполиса: научное издание. Екатеринбург: УГГУ, 2010. 176 с.

14. Шерман С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.

15. Рац М. В., Чернышев С. И. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. 164 с.

16. Курилов М. Б., Никитин В. Н. Распределение трещин и скоростей упругих волн в зонах влияния тектонических нарушений // Инженерная геология. 1982. № 3. С. 109–116.

17. Филатов В. В., Болотнова Л. А. Гравиразведка. Метод тектонофизического анализа гравитационного поля. Екатеринбург: УГГУ, 2015. 284 с.

18. Пономарев В. С. Структуры самопроизвольного разрушения в горных породах // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород при землетрясениях. М.: Наука, 1987. С. 46–57.

19. Физические основы прогнозирования разрушений горных пород при землетрясениях / отв. ред. М. А. Садовский, Г. А. Соболев. М.: Наука, 1987. 128 с.

20. Николаев П. Н. Системный анализ тектонических напряжений и деформаций // Известия вузов. Геология и разведка. 1978. № 5. С. 106–116.

21. Соболев Г. А., Осокина Д. Н. Оценка полей напряжений в сейсмоактивных районах по геофизическим данным // Взаимосвязь геолого-тектонического строения, свойств, структурных особенностей пород и проявлений избыточной напряженности. Апатиты: Кольск. филиал АН СССР. 1985. С. 13–17.

22. Осокина Д. Н. Вопросы изучения иерархической структуры тектонического поля напряжений, критериев выделения полей различных уровней и взаимосвязи между ними на основе моделирования и теоретических расчетов // Экспериментальная тектоника в решении задач теоретической и прикладной геологии: тез. докл. I Всесоюзн. симп. по эксперим. тектонике. Новосибирск, 1982. С.11–12.

23. Вугин Р. Б. Вопросы методологии комплексирования геофизических и тектонофизических исследований при изучении напряженного состояния земной коры // Взаимосвязь геолого-тектонического строения, свойств, структурных особенностей и проявления избыточной напряженности. Апатиты: Кольск. филиал АН СССР, 1985. С. 85–92.

24. Филатов В. В., Болотнова Л. А. Генезис Томинской рудной зоны по геолого-геофизическим данным // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 5. С. 111–118.

25. Stefanov Y., Bakeev R. A., Rebetsky Yu., Kontorovich V. A. Structure and formation stages of a fault zone in a geomedium layer in strike-slip displacement of the basement. Physical Mesomechanics. 2014. Vol. 17. P. 204–215. DOI: 10.1134/S1029959914030059.

26. Tataurova A. A., Stefanov Y. P., Bakeev R. A. Influence of gravity on deformation of blocks in Earthes crust // AIP Conference Proceedings. Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2017 (AMHS'17) (Tomsk, Russia, 9–13 October 2017). 2017. Vol. 1909. No. 1. P. 020217-1–020217-4.

27. Stefanov Yu. P., Bakeev R. A., Rebetsky Yu. L., Kontorovich V. A. Structure and formation stages of a fault zone in a geomedium layer in stick-slip displacement of the base // Physical Mesomechanics. 2013. Vol. 16. No. 5. P. 41–52.

28. Tchalenko J. S. Similarities between shear zones of different magnitudes. Geol. Soc. Am. Bull. 1970. No. 81. P. 1625–1640.

Поступила в редакцию 23 июля 2018 года

Сведения об авторах:

Филатов Владимир Викторович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой сопротивления материалов Владимирского государственного университета. E-mail: filatov47@bk.ru
Болотнова Любовь Анатольевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики Уральского государственного горного университета. E-mail: l.bolotnova@yandex.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-1-52-59

About similarity and hierarchy of tectonic structures

Vladimir V. Filatov[1], Liubov A. Bolotnova[2]
[1] Vladimir State University, Vladimir, Russia.
[2] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Research subject and aim. *A special place among the wide variety of structural-tectonic elements of the earth's crust belongs to disjunctive disturbances of various ranks and kinematic types. They are formed when the stresses exceed the limits of the geological medium strength for compression, stretching or shear. Therefore, the study of disjunctive disturbances, both in geological and in physical relations, is impossible without knowing the laws governing the destruction of solids in relation to the study of the regularities in the formation of tectonic structures.*

Research methodology *includes analytical review and generalization of rock samples deformation results, various dynamic phenomena (earthquakes, rock impacts, etc.), and tectonic disturbances of various ranks.*

Results. *The most important regularity of tectonic disturbances formation is their similarity at different scale levels and, as a consequence, hierarchy. The orthogonal system of deep faults of the Urals is considered as an example of this pattern. It is proved that deep faults of different ranks form rectangular blocks elongated in the meridional direction, the dimensions of which form a geometric progression with an index equal to two.*

Summary. *The regularities of tectonic divisibility of the geological medium give reason to use them when mapping fault structures of different ranks (especially high) in closed areas with the help of areal high-precision geophysical measurements.*

Key words: *tectonic structures; similarity; hierarchy; natural field of tension; geophysical fields.*

REFERENCES

1. Kolmogorov A. N. On logarithmic-normal law of particles distribution at grinding. *The Proceedings of the USSR Academy of Sciences*. 1941; 31; 2: 99–101. (In Russ.)
2. Vvedenskaia I. E., Spirin L. N. Planetary-tectonic jointing of the western part of the USSR territory. In: *Geology and minerals of Perm Cisurals*. Perm; 1973. p. 90–100. (In Russ.)
3. Gamkrelidze I. P. Planetary jointing of dislocated formations and phenomena connected with it. *Geotectonics*. 1972; 6: 45–54. (In Russ.)
4. Dolitskii A. V. *Tectonic structures reconstruction*. Moscow: Nedra Publishing; 1978. (In Russ.)
5. Nemets V., Kvet R. *Problems of geological investigations*. Vladivostok; 1976. (In Russ.)
6. Tiapkin K. F. *Study of fault and orogen structures of Precambrian with geological-geophysical methods*. Kiev: Naukova Dumka Publishing; 1986. (In Russ.)
7. Chebanenko I. I. Theoretical aspects of tectonic divisibility of the earth's crust. Kiev: Naukova Dumka Publishing; 1977. (In Russ.)
8. Shablinskaia N. V. New data about the global network of faults at platforms. *The Proceedings of the USSR Academy of Sciences*. 1977; 237: 1159–1162. (In Russ.)
9. Shults S. S. *Planetary jointing*. Leningrad: LSU Publishing; 1973. (In Russ.)
10. Lobatskaia R. M. *Structural zoning of faults*. Moscow: Nedra Publishing; 1987. (In Russ.)
11. Sadovskii M. V., Bolkhovitinov L. G., Pisarenko V. F. *Geophysical medium deformation and seismic process*. Moscow: Nauka Publishing; 1988. (In Russ.)
12. Kuksenko V. S. Physical reasons of similarity and strain energy release at rock destruction at different scale levels. In: *Physical fundamentals of rock destruction forecast during earth quakes*. Moscow: Nauka Publishing; 1987. (In Russ.)
13. Bolotnova L. A., Filatov V. V. *Gravity measurements. Tectonophysical analysis of gravitational field of Ekaterinburg megapolis: scientific publication*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2010. (In Russ.)
14. Sherman S. I. *Physical regularities of earth's crust fractures development*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 1977. (In Russ.)
15. Rats M. V., Chernyshev S. I. *Jointing and properties of jointed rocks*. Moscow: Nedra Publishing; 1970. (In Russ.)
16. Kurilov M. B., Nikitin V. N. Fissures and elastic waves velocities distribution in the zones of tectonic disturbances impact. *Engineering Geology*. 1982; 3: 109–116. (In Russ.)
17. Filatov V. V., Bolotnova L. A. *Gravity measurements. A method of tectonophysical analysis of a gravitational field*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2015. (In Russ.)
18. Ponomarev V. S. Structures of spontaneous destructions in rocks. In: *Physical fundamentals of forecasting rock destructions during earthquakes*. Moscow: Nauka Publishing; 1987. (In Russ.)
19. Sadovskii M. A., Sobolev G. A. (eds.) *Physical fundamentals of forecasting rock destructions during earthquakes*. Moscow: Nauka Publishing; 1987. (In Russ.)
20. Nikolaev P. N. Systematic analysis of tectonic stresses and deformations. *News of the Higher Institutions. Geology and Exploration*. 1978; 5: 106–116. (In Russ.)
21. Sobolev G. A., Osokina D. N. Evaluation of stress fields in seismically active regions according to geophysical data. In: *The interrelation between geological-tectonic structure, properties, and structural features of rocks and the manifestations of overstrain*. Apatity: Kola Branch of the USSR AS; 1985. (In Russ.)

22. Osokina D. N. The issues of studying the hierarchical structure of a tectonic field of stresses, the criteria of distinguishing the fields of various levels, and the interrelation between them based on simulation and theoretical calculations. In: *Experimental tectonics in the problems of theoretical and applied geology: Proceedings of the 1st All-Union Symposium on Experimental Tectonics*. Novosibirsk; 1982. (In Russ.)
23. Vugin R. B. The issues of geophysical and tectonophysical investigations integration methodology when studying stressed state of the earth's crust. In: *The interrelation between geological-tectonic structure, properties, and structural features of rocks and the manifestations of overstrain*. Apatity: Kola Branch of the USSR AS; 1985. (In Russ.)
24. Filatov V. V., Bolotnova L. A. Genesis of Tomino ore zone according to geological and geophysical data. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2016; 5: 111–118. (In Russ.)
25. Stefanov Y., Bakeev R. A., Rebetsky Yu., Kontorovich V. A. Structure and formation stages of a fault zone in a geomedium layer in strike-slip displacement of the basement. *Physical Mesomechanics*. 2014; 17: 204–215.
26. Tataurova A. A., Stefanov Y. P., Bakeev R. A. Influence of gravity on deformation of blocks in earth's crust. In: *AIP Conference Proceedings. Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2017, AMHS'17, 9–13 October 2017 Tomsk, Russia*. 2017; 1909 (1).
27. Stefanov Yu. P., Bakeev R. A., Rebetsky Yu. L., Kontorovich V. A. Structure and formation stages of a fault zone in a geomedium layer in stick-slip displacement of the base. *Physical Mesomechanics*. 2013; 16; 5: 41–52.
28. Tchalenko J. S. Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geol. Soc. Am. Bull*. 1970; 81: 1625–1640.

Received 23rd July, 2018

Information about authors:

Vladimir V. Filatov – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Resistance of Materials Department, Vladimir State University. E-mail: filatov47@bk.ru
Liubov A. Bolotnova – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, associate professor of the Department of Geophysics, Ural State Mining University. E-mail: l.bolotnova@yandex.ru

Для цитирования: Филатов В. В., Болотнова Л. А. О подобии и иерархии тектонических структур // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 1. С. 52–59.
For citation: Filatov V. V., Bolotnova L. A. About similarity and hierarchy of tectonic structures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 1: 52–59.