

12. Грин Х.У. Пластичность оливина в перидотитах // Электронная микроскопия в минералогии. — М.: Мир, 1979. — С. 427–447.
13. Nicolas A., Boudier F., Boullier A.M. Mechanism of flow in naturally and experimentally deformed peridotites // Amer. J. Sci. — 1973. — № 10. — P. 853–876.
14. Вернон Р.Х. Метаморфические процессы. — М.: Недра, 1980. — 226 с.
15. Carter N.L. Steady state flow of rocks // Rev. Geophys. and Space Physics. — 1976. — V. 14. — № 3. — P. 301–360.
16. Raleigh C.B., Talbot J.L. Mechanical twinning in naturally and experimentally deformed diopside // Amer. J. Sci. — 1967. — V. 265. — P. 151–165.

УДК 550.31+550.34+55 (084.3)+502.58.001.18

## НАРУШЕННОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЕЕ РОЛЬ В ПРОГНОЗЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ЗОН ДЛЯ ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Т.С. Блинова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь  
E-mail: tb@mine.perm.su

*Установлена связь систем разломов и крупных разломов консолидированной коры с геодинамически неустойчивыми зонами различных иерархических уровней. Эти зоны отличаются свойствами среды и динамикой процессов, которые стремятся к их дестабилизации под действием региональных и глобальных сил, и находят свое проявление в сейсмичности. Определены активные зоны сочленения разломов для Западно-Уральского региона, расположенного в пределах трех геоструктур земной коры: восточной окраине Восточно-Европейской платформы, Предуральском краевом прогибе и Западно-Уральской складчатой зоне. Впервые построены карты плотности разломов консолидированной коры различных модификаций для Западно-Уральского региона и установлена их связь с геотермическими характеристиками осадочного чехла и фундамента, с блоковым строением региона, с геодинамически неустойчивыми зонами различных иерархических уровней и с сейсмичностью.*

### Введение

Исследования в области сейсмического районирования платформ, прежде всего, предполагают разработку методов распознавания сейсмогенерирующих зон. В связи с этим была предложена система комплексного геолого-геофизического и сейсмологического изучения природных объектов Западно-Уральского региона. Определены принципы подхода к региональному сейсмическому районированию платформенных областей и выделению на них геодинамически неустойчивых зон на примере Западно-Уральского региона. Принципы эти выстраиваются в ряд этапов, представляющих собой единую систему. В основе этого единства лежит представление о том, что наилучшим приближением к реальной обстановке можно считать блочно-иерархическую модель среды, основная особенность которой состоит в иерархической дискретности распределения ее элементов по размерам. Самым тесным образом со структурой неоднородностей среды связан и сейсмический процесс.

Геодинамически неустойчивые зоны отличаются свойствами среды и динамикой процессов, которые стремятся к их дестабилизации под действием региональных и глобальных сил, и находят свое проявление в сейсмичности. Обозначен ряд признаков выделения геодинамически неустойчивых зон пер-

вого порядка по комплекту геолого-геофизических карт масштаба 1:2500000. В результате выделено четыре таких зоны, в трех из них зарегистрированы землетрясения [2, 3] (рис. 1). Следующим этапом решения задач сейсмического районирования является переход на другой иерархический уровень. Для этого использованы карты масштабов 1:1000000 и 1:500000. Совместный анализ геологических и геофизических данных позволил наметить и проследить геодинамически неустойчивые зоны второго порядка в Западно-Уральском регионе. Здесь выделено 13 таких зон. Каждая из них имеет свое простираие, ширину и в большинстве из них зарегистрированы землетрясения [4] (рис. 2).

Известно, фундаментальное свойство геофизической среды заключается в том, что она состоит из системы неоднородностей (блоков, отдельностей), и какой бы элемент не был выбран, в нем всегда можно обнаружить структурную неоднородность низшего порядка [13]. Для Западно-Уральского региона размеры геоблоков имеют тенденцию удваиваться от ранга к рангу. Аналогичный закон характерен и для разломных структур. Скорее всего, это связано с регулярностью удвоения глубин залегания основных границ раздела в земной коре и верхней мантии, которых достигают соответствующие ранги разломов [14].

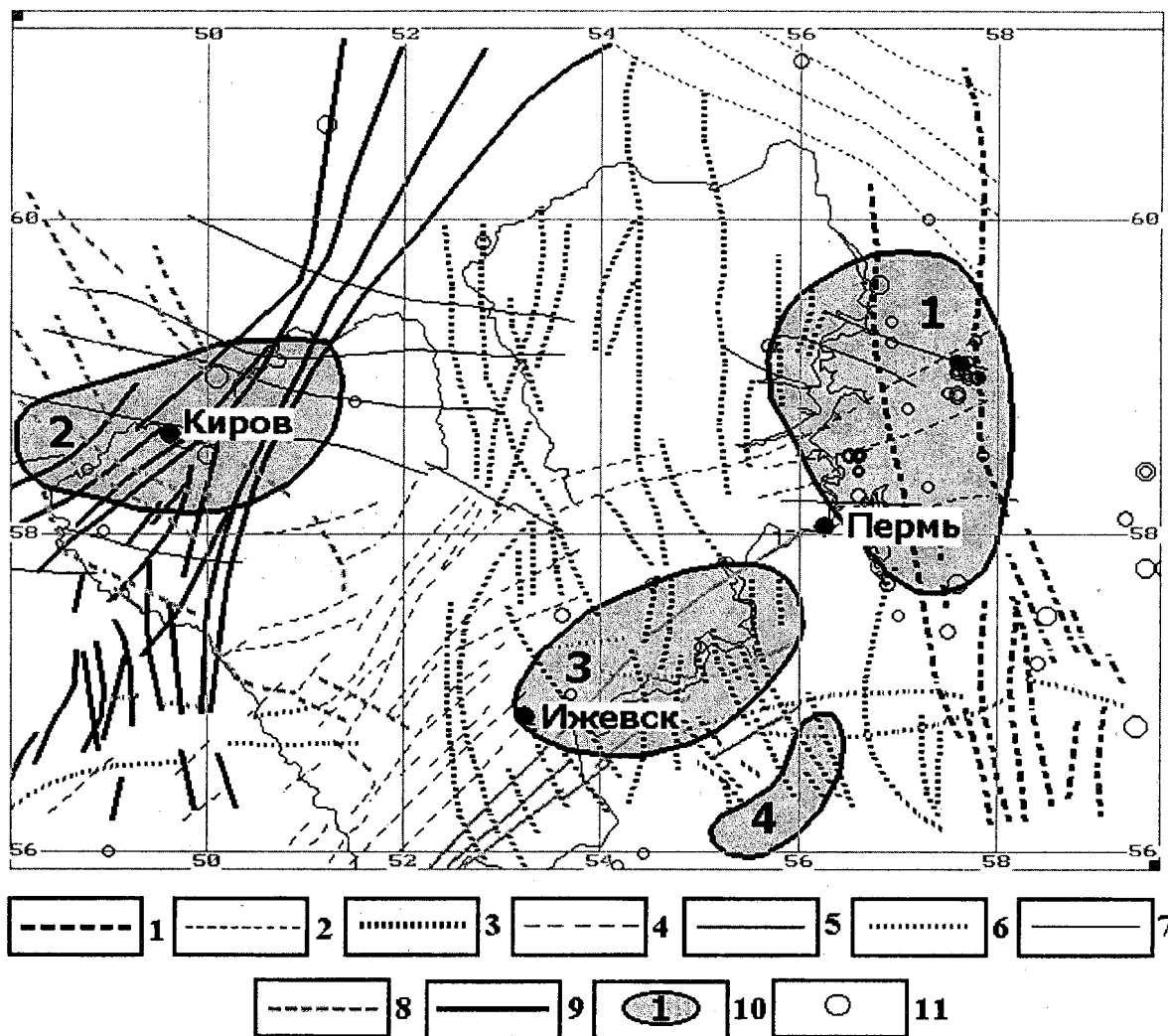


Рис. 1. Основные направления и системы разломов консолидированной коры для Западно-Уральского региона. Системы разломов: 1) Уральская, 2) Тиманская, 3) Удмуртско-Бирская, 4) Кильмезско-Полазненская, 5) Камская, 6) Горьковско-Чебоксарская, 7) Моломско-Чепецкая, 8) Северо-Западная, 9) Вятская; 10) геодинамически неустойчивые зоны первого порядка: 1) Кизеловско-Камская, 2) Кировская, 3) Восточно-Ижевская, 4) Куединская; 11) эпицентры землетрясений

### Связь глубинных разломов с сейсмичностью

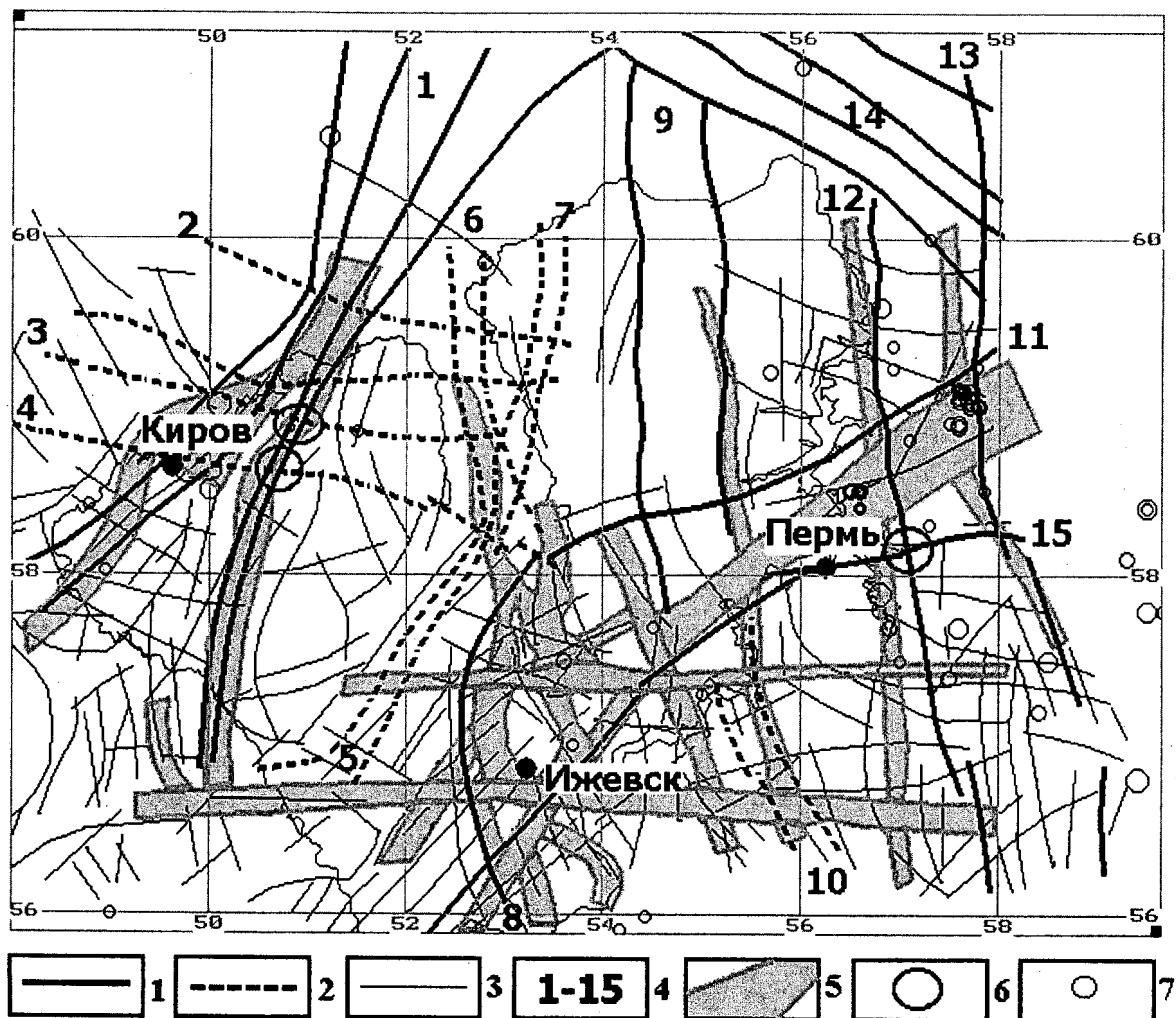
Дифференциация земной коры на блоки связана с глубинными разломами. Изучение разломов вообще и глубинных разломов особенно имеет длительную историю (Хоббс, А.В. Пейве, В.Е. Хаин). Термин "глубинный разлом" был предложен в 1945 г. А.В. Пейве.

Терминами, близкими к "глубинному разлому", является "линеамент", "глубинный шов" и "зона глубинного разлома", хорошо подчеркивающая значительную ширину и объемность глубинного разлома. Глубинные разломы определяют как зоны подвижного сочленения крупных блоков земной коры и подстилающей толщи верхней мантии, обладающие протяженностью до многих сотен и тысяч километров при ширине, достигающей иногда нескольких десятков километров. Продолжительность развития и существования разломов очень велика.

Разломы в пределах Западно-Уральского региона образуют перекрещивающиеся или торцово со-

членяющиеся между собой системы. Установлены следующие их направления: диагональные – северо-восточные и северо-западные, ортогональные – субширотные и субмеридиональные системы, аналогичные существующим общепланетарным направлениям линеаментов.

Было проведено обобщение многочисленных данных различных авторов по разломной тектонике для восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Предуральскому прогибу [5–8, 9, 12, 17]. В результате этих исследований в Западно-Уральском регионе выделено восемь различно ориентированных систем разломов (рис. 1). Не все разломы внутри выделенных систем равнозначны. Одни из них образуют протяженные до нескольких сотен километров непрерывные или прерывистые линии, другие – в виде коротких отрезков располагаются параллельно, кулисообразно или отходят под некоторым углом от первых, образуя структуры "оперения" или "конского хвоста" [5, 6]. Л.Н. Елан-



**Рис. 2.** Разломы различных рангов консолидированной коры Западно-Уральского региона: 1) генеральные разломы; 2) региональные разломы; 3) локальные разломы; 4) номера генеральных и региональных разломов: 1) Вятские разломы, 2) Нагорненский разлом, 3) Холунецкий разлом, 4) Моломско-Чепецкий разлом, 5) Кильмезский грабен, 6) Афанасьевский грабен, 8) Удмуртский разлом, 9) Гайнско-Кудымкарская система разломов, 10) Верещагинско-Куединская полоса разломов, 11) Чермозский разлом, 12) Красноуфимский разлом, 13) Западно-Уральский разлом, 14) Тиманская система разломов, 15) Пермско-Ижевско-Ульяновский транзитный разлом (северо-восточная его часть – Пермско-Ижевский разлом); 5) геодинамически неустойчивые зоны второго порядка; 6) зоны сочленения глубинных разломов; 7) эпицентры землетрясений

ский (1963 г.) и И.М. Уразаев (1964 г.) предложили нарушения указанных двух типов относить к группе первого и второго порядков. Они выделяют также разломы третьего порядка. Такое разделение удобно в связи с совпадением их градаций с общепринятой классификацией тектонических структур, контролируемых ими. С.И. Шерман в своей книге [15] выделяет три группы разломов: генеральные, региональные и локальные. Генеральные разломы – линейно-вытянутые, протяженные и глубоко проникающие области концентрации напряжений в литосфере с хорошо выраженным вертикальным зональным строением (высокая плотность трещин, катаклиз, милонитизация, внутриразломные структуры течения), повышенной сейсмической активностью, повышенной проницаемостью для магм, гид-

ротерм и тепловых потоков, существующие благодаря периодической активизации движений в разграничиваемых ими структурах. И хотя понятие "генеральный разлом" отождествляется с понятием "глубинный разлом", предложенный А.В. Пейве, В.Е. Хаином и др. авторами, можно отметить более расширенную характеристику, которую он приобрел с годами исследований. С.И. Шерман [15] выделил также разломы более мелкие по масштабу – региональные и локальные, которые менее значимы в геологической истории развития регионов, но наиболее ответственны за сложную современную геологическую ситуацию на поверхности. В соответствии с концепцией блоково-иерархической модели среды, в результате обобщения данных по каждому из разломов и четкому представлению их классифи-

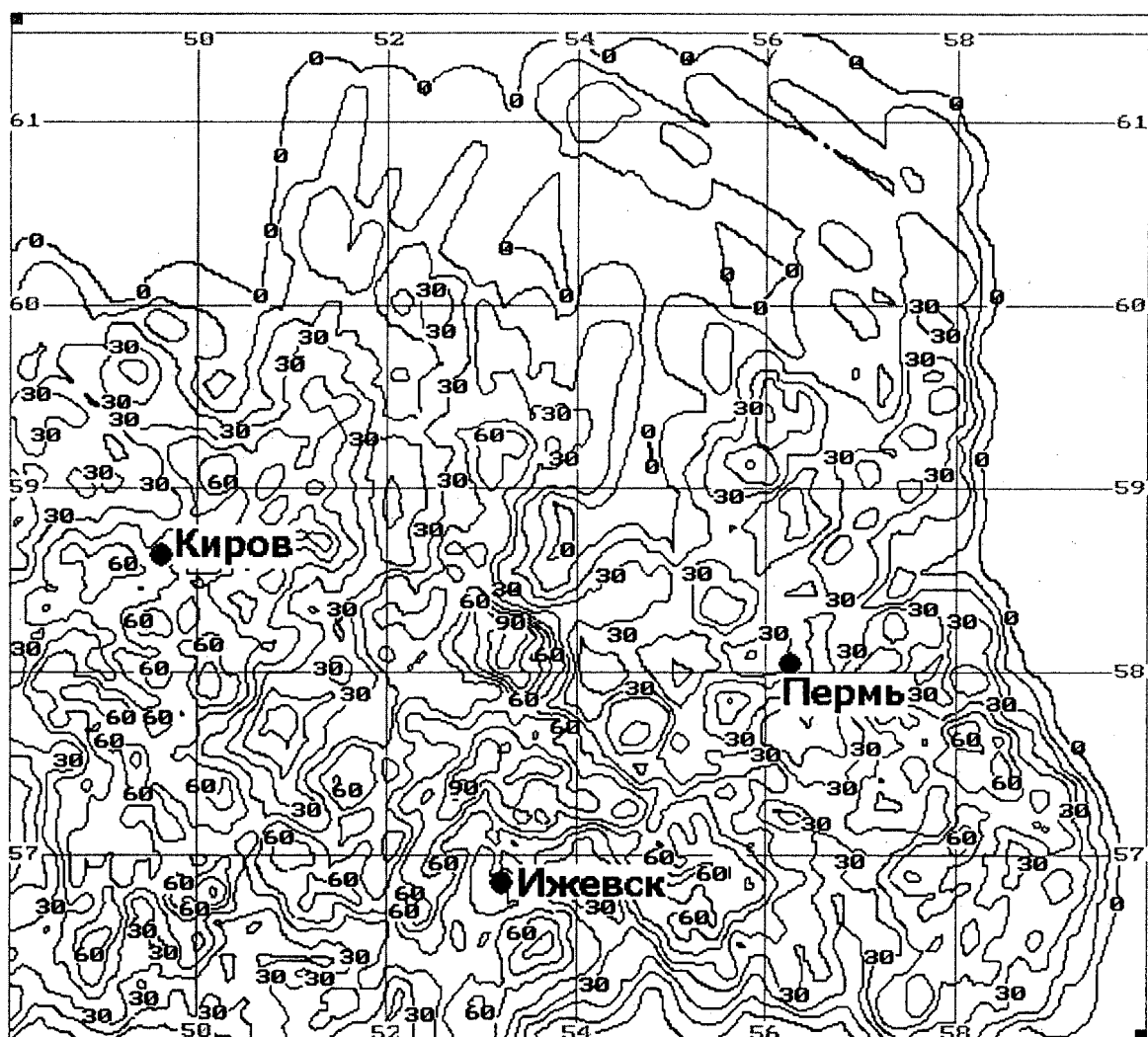


Рис. 3. Карта плотности разломов без учета их рангов для Западно-Уральского региона. Значения изолиний умножить на  $10^{-4}$

кационных признаков, определены генеральные и региональные и локальные разломы для Западно-Уральского региона (рис. 2).

Большое прикладное значение в сейсмологии и сейсмогеологии при определении мест возможных очагов землетрясений играют зоны сочленения разломов. Изучению этой проблемы посвящено большое количество исследований [14–16]. Математическое моделирование активности зон сочленения разломов в разных полях напряжений [16] показало, что их активность связана со сдвиговым полем напряжений и характерна для перпендикулярного пересечения разломов большой длины. В Западно-Уральском регионе выделено две такие структуры (рис. 2). Уральская зона сочленения разломов – зона пересечения генеральных разломов: Красноуфимского и Пермско-Ижевского. Красноуфимский глубинный разлом находится в режиме надвига, а Пермско-Ижевский разлом – в режиме сдвига. Угол пересечения разломов в зоне их сочленения составляет  $90^\circ$ , длина разломов велика. Здесь зарегистрированы землетрясения. Кировская зона сочленения разломов – зона пересечения генерального Вятско-

го разлома, ограничивающего Казанско-Кажимский авлакоген с востока, с Моломско-Чепецким региональным разломом. Вятский глубинный разлом находится в режиме сброса, а Моломско-Чепецкий – в режиме сдвига. Угол их пересечения близок к  $90^\circ$ , а длина разломов велика. Здесь зарегистрированы землетрясения. Местоположение этих зон совпадает с Кировской и Кизеловско-Камской геодинамически неустойчивыми зонами первого порядка, выделенными по комплексу геолого-геофизических и сейсмологических данных. При региональных исследованиях правильнее было бы выделять пересечение не отдельных разломов, а целых систем с теми же характеристиками. В регионе это будут зоны пересечения Вятской и Моломско-Чепецкой, а также Уральской и Кильмезско-Полазненской систем разломов.

Определена связь геодинамически неустойчивых зон первого порядка с системами разломов консолидированной коры для Западно-Уральского региона (рис. 1). Геодинамически неустойчивые зоны Западно-Уральского региона совпадают с участками пересечения сразу трех систем разломов. В За-

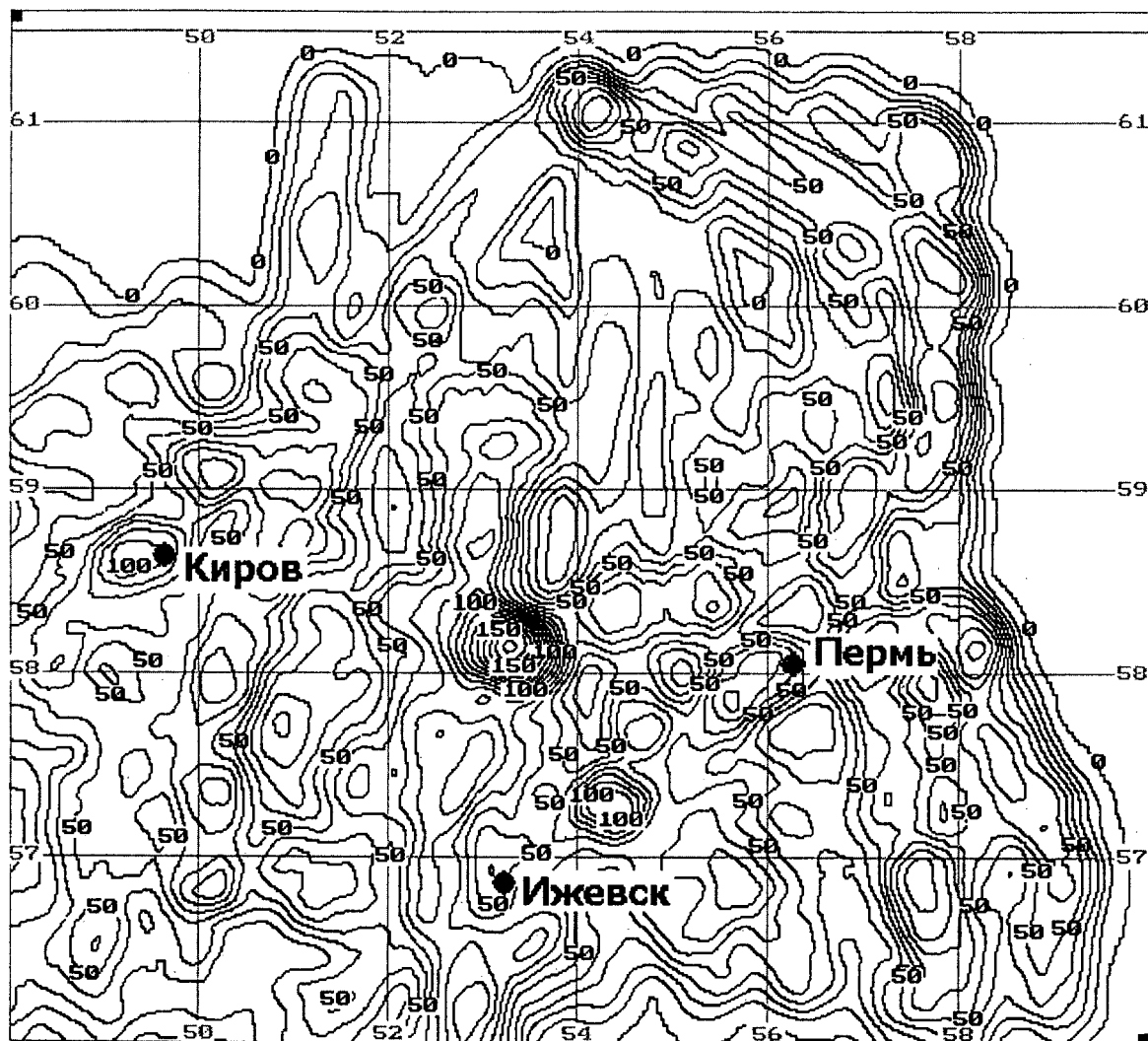


Рис. 4. Карта плотности разломов с учетом их рангов для Западно-Уральского региона. Значения изолиний умножить на  $10^{-4}$

падно-Уральском регионе выделяется три такие зоны: зона пересечения Уральской, Кильмезско-Полазненской и Моломско-Чепецкой систем разломов, зона пересечения Камской, Горьковско-Чебоксарской и Удмуртско-Бирской систем разломов и зона пересечения Кировской, Моломско-Чепецкой систем разломов консолидированной коры с системой разломов, имеющих северо-западное простирание в западной части региона. Первой зоне пересечения разломов соответствует Кизеловско-Камская, второй – Восточно-Ижевская и третьей – Кировская геодинамически неустойчивые зоны первого порядка.

Установлена также связь разломов различных иерархических рангов с геодинамически неустойчивыми зонами второго порядка. Исследования показали, что практически все эти зоны сопряжены с генеральными разломами. Особый интерес представляет диагональная зона, имеющая направление Кизел-Ижевск-Елабуга являющаяся частью протяженной Анапо-Камской сейсмоактивной зоны, для которой установлена связь с внутренней структурой земной коры и верхней мантии [1]. В этой мантий-

ной зоне, почти на всем ее протяжении (в пределах платформы) происходят землетрясения в верхней части земной коры с  $h=10\pm 5$  км и  $M<3...4$ . Она имеет наибольшую ширину и протяженность, а ее границами являются генеральными разломами.

#### Плотность разломов Западно-Уральского региона и ее связь с сейсмичностью

Для решения вопросов сейсмического районирования информация, которую несут карты разломов, представляется не достаточно полной, она не отражает количественного показателя раздробленности коры по всему исследуемому региону. Для этого были построены карты плотности разломов. Расчет "Карты плотности разломов консолидированной коры Западно-Уральского региона" без учета рангов разломов проводился с помощью геоинформационной системы "ГЕО" [9]. При расчете поля плотности разломов каждому узлу сетки создаваемого поля приписывалась величина равная отношению числа линий в круге радиусом  $R_{max}$  к площади этого круга ( $\pi R_{max}^2$ ). За единицу площади принималась площадь

круга  $R=20$  км. Выбор размера радиуса названного трафарета определялся максимальными вариациями мощности земной коры, известной средней длины разломов и глубины эпицентров землетрясений. Также была построена "Карта плотности разломов консолидированной коры Западно-Уральского региона" с учетом их рангов. Ранги разломов учитывались при подсчете количества разломов, попавших внутрь палетки: 1 – локальный, 2 – региональный и 3 – генеральный разлом.

Установлена связь нарушенности земной коры с блоковым строением региона. На "Карте плотности разломов консолидированной коры Западно-Уральского региона", рассчитанной с учетом рангов разломов, границы блоков кристаллического фундамента характеризуются повышенными значениями плотности разломов. На "Карте плотности разломов консолидированной коры Западно-Уральского региона", рассчитанной без учета рангов разломов, одни блоки являются наиболее нарушенными, для других характерно увеличение плотности разломов на краях блоков.

Для определения информативности карт плотности разломов различных модификаций для территории Западно-Уральского региона, было проведено их сопоставление с геодинамически неустойчивыми зонами различных иерархических уровней и с сейсмичностью. Установлено что, Кизеловско-Камская, Кировская и Восточно-Ижевская геодинамически неустойчивые зоны первого порядка, характеризуются средними значениями плотности разломов, равными  $(20...50) \cdot 10^{-4}$ , при шкале изменения параметра  $(3...95) \cdot 10^{-4}$ , т.е. являются "живущими" участками земной коры, для которых характерна не наибольшая и не самая низкая плотность разломов. На этих участках создаются условия для накопления упругих тектонических напряжений и для их разрядки. Для этих зон характерно увеличение

температур на поверхности терригенного девона и на поверхности терригенной толщи нижнекаменноугольных отложений, уменьшение значений геотермических градиентов в их терригенных толщах, а также локальные повышения температур фундамента на общем фоне их увеличения. Такое соотношение температур является признаком аномальных условий теплопередачи и свидетельствует о внутрипластовой разгрузке и нарушенности пород фундамента и осадочного чехла.

Установлена связь плотности разломов консолидированной коры Западно-Уральского региона, полученная с учетом рангов разломов, с геодинамически неустойчивыми зонами второго порядка. Зоны располагаются там, где плотность разломов имеет значение  $(40...90) \cdot 10^{-4}$  при шкале изменения параметра  $(5...163) \cdot 10^{-4}$ . Особенно хорошо выделяется Камско-Ижевская часть Анапо-Камской зоны, имеющая в Западно-Уральском регионе направление Кизел-Ижевск-Елабуга. Проявляются в значениях плотности разломов на этой карте все три геодинамически неустойчивые зоны, расположенные в Казанско-Кажимском авлакогене и зона их слияния. Аналогичные зоны прослеживаются следятся по этому параметру на границах Предуральского прогиба и Западно-Уральской складчатой зоны.

Таким образом, установлена связь систем разломов и крупных разломов консолидированной коры с геодинамически неустойчивыми зонами различных иерархических уровней, определены активные зоны сочленения разломов. Впервые для Западно-Уральского региона построены карты плотности разломов консолидированной коры различных модификаций и установлена их связь с геотермическими характеристиками осадочного чехла и фундамента, с блоковым строением региона, с геодинамически неустойчивыми зонами различных иерархических уровней и с сейсмичностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьин И.В. Сейсмоактивные зоны Восточно-Европейской платформы и Урала // Вопросы инженерной сейсмологии / Комплексная оценка сейсмической опасности. – Вып. 32. – 1991. – С. 106–121.
2. Блинова Т.С. Выделение сейсмоактивных зон в Западно-Уральском регионе по комплексу геологических данных // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М.: ОИФЗ РАН, 1995. – Вып. 2–3. – С. 331–342.
3. Блинова Т.С., Маловичко А.А. Сейсмичность и сейсмическое районирование Западно-Уральского региона (до  $54^{\circ}N$ ) // Недр Поволжья и Прикаспия. – Саратов: Нижне-Волжский НИИГГ, 1996. – Вып. 13 (спец.). – С. 83–90.
4. Блинова Т.С., Маловичко А.А. Прогноз региональных геодинамически неустойчивых зон по комплексу геолого-геофизических и сейсмологических данных для территории Западно-Уральского региона // Материалы "X Междотрасл. координац. совещ. по пробл. геодинамической безопасности", 6–9 октября 1997 г. – Екатеринбург, 1997. – С. 75–79.
5. Валеев Р.Н. Тектоника Вятско-Камского междуречья. – М.: Недра, 1968. – 116 с.
6. Валеев Р.Н. Разломы кристаллического фундамента и их роль в формировании структур осадочного чехла // Выявление и трассирование разломов по геофизическим аномалиям Волго-Камского края. – М.: Недра, 1970. – С. 75–93.
7. Гафаров Р.А. Строение докембрийского фундамента севера Русской платформы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963.
8. Гершанок В.А., Чадаев М.С. Применение совокупных кривых для оценки достоверности выявленных разломов // Проблемы геологии Пермского Урала и Приуралья: Материалы региональной научной конференции. – Перм. ун-т. – Пермь, 1998. – С. 187–188.

9. Питис В.Г., Вайншток А.П., Деарт Д.А. и др. Геоинформационная система "ГЕО", версия 2.5 (ГИС "ГЕО 2.5"). – М.: ИППИ РАН, 1995. – 123 с.
10. Ерофеев В.Ф. Геотермические закономерности артезианских бассейнов Русской плиты в связи с размещением залежей нефти и газа // Дис. ... на соиск. уч. степ. к.г.-м.н. – Л.: ВНИГНИ, 1972.
11. Кассин Г.Г., Маловичко А.К., Новоселицкий В.М. и др. Гравитационная модель земной коры северо-восточной части Волго-Уральской провинции // Гравитационная модель коры и верхней мантии Земли. – Киев: Наукова думка, 1979. – С. 168–175.
12. Новоселицкий В.М., Проворов В.М., Шилова А.А. Физические свойства пород осадочного чехла севера Урало-Поволжья. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. – 132 с.
13. Садовский М.А., Белховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука, 1987. – 100 с.
14. Уломов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмогеодинамических структур и некоторые аспекты сейсмического районирования и долгосрочного прогноза землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М.: ОИФЗ РАН, 1993. – Вып. 1. – С. 24–44.
15. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов. – Новосибирск: Наука, 1977. – 100 с.
16. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). – Новосибирск: Наука, 1983. – 111 с.
17. Ярош А.Я. Структура кристаллического фундамента Западного Приуралья // Геологические результаты прикладной геофизики. – М.: Недра, 1965.

УДК 548.231:549.12:612.466.1

## ГЕНЕЗИС УРОЛИТОВ

А.К. Полиенко, О.А. Севостьянова

Томский политехнический университет  
E-mail: lev@tpu.ru

*Приводятся общие сведения об уролитах (мочевых камнях), относящихся к объектам биологической минералогии. Излагаются положения некоторых теорий камнеобразования в мочевой системе человека. Приведены пять основных процессов, приводящих к образованию уролитов. Рассматриваются механизмы возможного зарождения, роста и изменений органо-минеральных агрегатов вплоть до их разрушения. Исследуются причины, приводящие к формированию патогенных органо-минеральных агрегатов (мочевых камней). Показано, что камнеобразование возникает в результате сочетания причин общего и местного порядка (режим питания и питьевой режим, функциональные нарушения центральной нервной системы, роль эндокринной системы). В развитии мочекаменной болезни и формировании уролитов большое значение имеют разнообразные внешние и внутренние факторы.*

В последние годы эффективное развитие получила биологическая минералогия, являющаяся одним из направлений генетической минералогии.

Биогеология изучает строение, состав, условия образования и изменения объектов, возникающих в живых организмах. К таким объектам относятся продукты деятельности живых клеток, кости и зубы человека и животных, раковины моллюсков, жемчуг, скелет кораллов, скорлупа птичьих яиц, отолиты и другие продукты живой природы. Многообразие и характер распределения биогенных минералов в различных организмах приведены в работе Н.А. Lowenstam [1]. Биологическая минералогия, как генетическая наука, исходит из того, что неживое, возникшее из живого, является его частью, и они тесно связаны.

Основным объектом исследований в биогеологии является органо-минеральный агрегат (ОМА), состоящий из минеральных индивидов и органических веществ. Возникновение и рост этих агрегатов не объясняется только законами физики и химии, как это имеет место в минералогии. Здесь

выступает ещё один важный фактор – биохимические законы развития живой клетки, но он пока не нашел четкого выражения в качестве регулятора процесса минералообразования. Однако необходимо констатировать, что кристаллохимические закономерности растущих минеральных индивидов подчиняются генетическому контролю со стороны биохимических законов. В этом мы видим тесную взаимосвязь живой и неживой материи, о чем говорится в работе Б.И. Сребродольского [2].

На минералы в организмах начали обращать внимание с давних времен. Уже несколько тысячелетий назад были сделаны первые попытки проведения операций по удалению уролитов, собирались также рецепты воздействия различных минералов на организм. Особый интерес к составу и строению твердых частей скелетов организмов стали проявлять несколько позже; так, в конце прошлого века был установлен карбонатный состав раковины моллюсков, в скелете человека и животных обнаружен фосфат кальция с примесью карбоната. Участие живого в образовании минералов биосферы серьезное