

## МОДЕЛЬ ВЯЗКОУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Розроблено геомеханічну модель вертикального перетину літосфери вкrest простилання Байкальського рифту, котра описує еволюцію в часі полів напружень і деформацій, зумовлену реологічними процесами.

## THE MODEL OF VISCOUS-ELASTIC DEFORMATIONS OF BAIKAL RIFT ZONE

The geomechanical model of vertical lithosphere section across laying of Baikal rift is developed which describes evolution in time of pressure fields and deformations caused reological processes.

1. Данные прямых измерений напряжений и деформаций в массивах горных пород имеют точечный характер и могут, по-видимому, являться лишь дополнительными экспериментальными данными для моделирования геомеханических полей в таких крупномасштабных объектах, как земная кора и литосфера [1]. Для этой цели необходима информация соответствующего масштаба. В первую очередь к ней относится информация о механизмах очагов землетрясений, а также результаты GPS-наблюдений.

Изучение напряженного состояния земной коры и механизмов его изменения в зонах континентального рифтогенеза может существенно приблизить нас к пониманию происходящих здесь процессов разломообразования и генерации сейсмичности.

Весьма важным является то, чтобы в модели была учтена степень современной активизации разломных зон. Одной из основных задач является выбор модели вязко-упругой среды, которая бы в наилучшей степени отображала реально наблюдаемые при мониторинге процессы изменения во времени напряжений и деформаций.

Целью работы является разработка и анализ детальной двумерной геомеханической модели участка земной коры вкrest простирания рифтовой зоны, прообразом которой является вертикальное сечение центральной части Байкальской рифтовой зоны (рис.1). Модель учитывает сложную разломную тектонику и соответствует реальному строению зон континентального рифтогенеза, геодинамический режим которых относится к сбросовому типу [2].

Данные о локализации и механизмах очагов сейсмических событий свидетельствуют [3], что до глубины 20-22 км реализуется сбросовой режим. Оси растяжения ориентированы на СЗ-ЮВ, оси сжатия - на СВ-ЮЗ почти повсюду в рассматриваемом регионе. Эти данные обусловили выбор ориентации и размеров расчетной области.

Учтены реологические параметры основных структурных элементов литосферы, в том числе разломных зон. В Табл. 1 приведены физические свойства пород: скорости продольных  $V_P$  и поперечных  $V_S$  волн, плотность  $\rho$  и вязкость  $\eta$ . Важная особенность: в рассматриваемом районе мантия имеет уча-

сток, расположенный аномально близко (около 35 км) к поверхности – зона 12 или 11+12 (по разным источникам) – так называемый *плюм*, вязкость которого на несколько порядков ниже окружающих его зон (8, 10, 13).

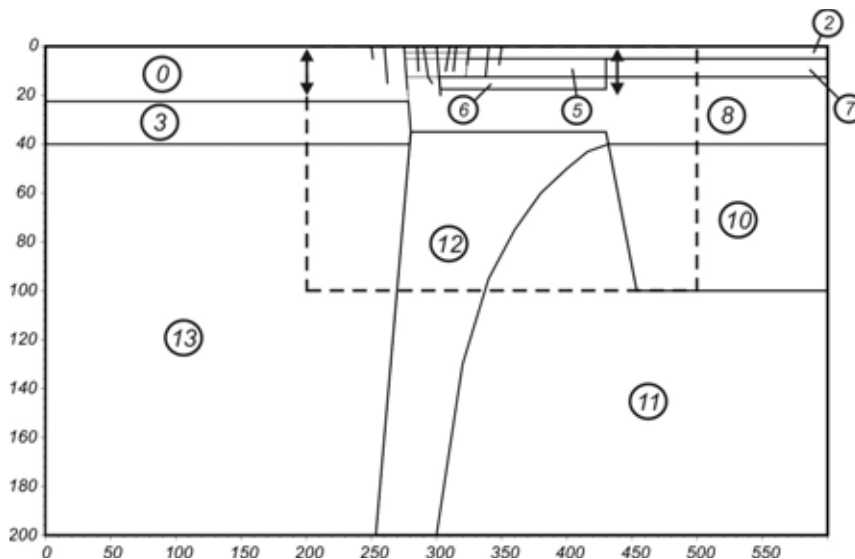


Рис. 1 – Структурная схема вертикального сечения центральной части Байкальской рифтовой зоны

Табл. 1 – Физические свойства пород

	$V_p$ , м/с	$V_s$ , м/с	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\eta$ , Па·с
0	6100	3600	2700	$10^{24}$
1	2000	1000	2500	$10^{19}$
2	5800	3500	2700	$10^{22}$
3	6400	3700	2800	$10^{22}$
4	3500	1900	2550	$10^{20}$
5	4600	2500	2600	$10^{22}$
6	6100	3400	2800	$10^{21}$
7	6000	3400	2800	$10^{23}$
8	6000	3700	2800	$10^{22}$
				$10^{20}$
				$10^{18}$
9	6300	3600	2800	$10^{23}$
10	8100	4300	2800	$10^{20}$
11	7800	4300	2800	$5 \cdot 10^{18}$
12	7800	4300	2800	$5 \cdot 10^{18}$
13	8100	4500	2900	$10^{21}$

2. Численное моделирование проводилось в два этапа. Сначала на упругой модели рассчитывалось исходное напряженное состояние, при котором до глубины  $z_0 \cong 20$  км в окрестности рифтовой зоны в горизонтальном направлении реализуются деформации растяжения ( $\epsilon_{xx} > 0$ ) и напряжения сжатия ( $\sigma_{xx} < 0$ ), а при  $z > z_0$  среда находится в состоянии, близком к всестороннему сжатию (гипотеза Гейма). Это достигалось соответствующим выбором коэффициента бокового отпора  $q_x = q_x(z)$  (рис. 2).

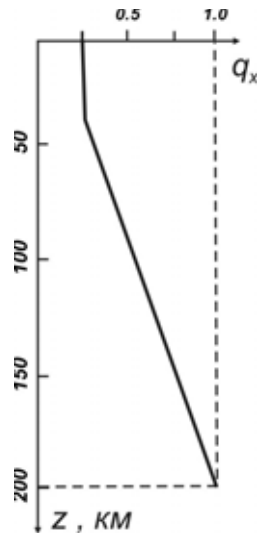


Рис. 2 – Коэффициент бокового отпора

В расчетной области  $G$  (рис.1) выполняются уравнения равновесия

$$\sigma_{ij,j} = \rho g \delta_{iz}. \quad (i, j = x, z) \quad (1)$$

и граничные условия

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} = q_x \rho g z, \quad \sigma_{xz} = 0 & \quad \text{при } x = 0, L_x; \\ \sigma_{zz} = \sigma_{xz} = 0 & \quad \text{при } z = 0; \\ u_z = 0, \quad \sigma_{xz} = 0 & \quad \text{при } z = L_z, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $u_i$  и  $\sigma_{ij}$  – компоненты вектора смещений и тензора напряжений,  $g$  – ускорение свободного падения,  $L_x, L_z$  – размеры  $G$ .

Для численного моделирования полей напряжений и деформаций использовался оригинальный пакет 2МКЭЧК, предназначенный для решения методом конечных элементов двумерных задач теории упругости и пластичности для сред с нарушениями оплошности [1].

3. По данным GPS наблюдений: между двумя пунктами (стрелки на рис. 1), отстоящими на 200 км за 1 год, расстояние увеличилось на  $\Delta l = 4$  мм. Принята гипотеза: внешние усилия неизменны, а удлинение  $\Delta l$  произошло только за счет вязкого деформирования. Поэтому для описания вязкоупругого поведения среды использована модель Кельвина–Фойхта: соединенные параллельно "вязкий" (вязкость  $\eta$ ), и упругий (модуль сдвига  $\mu_1$ ) элементы последовательно присоединены к упругому элементу (модуль сдвига  $\mu = \rho V_S^2$ , Табл. 1).

Численным экспериментом подобрано значение безразмерного параметра  $\xi = \mu_1 T / \eta$  так, чтобы за время  $T = 1$  год величина приращения смещений  $\Delta l$  между пунктами GPS оказалась равной 4 мм. Таким образом, проведена вери-

фикация модели.

4. Результаты моделирования – распределение приращений горизонтальных  $\Delta\varepsilon_{xx}$  и вертикальных  $\Delta\varepsilon_{zz}$  деформаций представлены на рис. 3, 4. "Расширение" рассматриваемой области в горизонтальном направлении определяется плюмом:

1) в нижней части относительное удлинение в нем на 1–1,5 порядка больше, чем в окружающей среде;

2) в верхней части расширяется, в основном, зона, примыкающая к плюму.

В верхней части коры, в окрестности основных субвертикальных разломов (рис. 1) имеют место положительные значения прироста деформаций  $\Delta\varepsilon_{zz}$  (рис. 4): локальное вертикальное расширение» за счет вязкого деформирования.

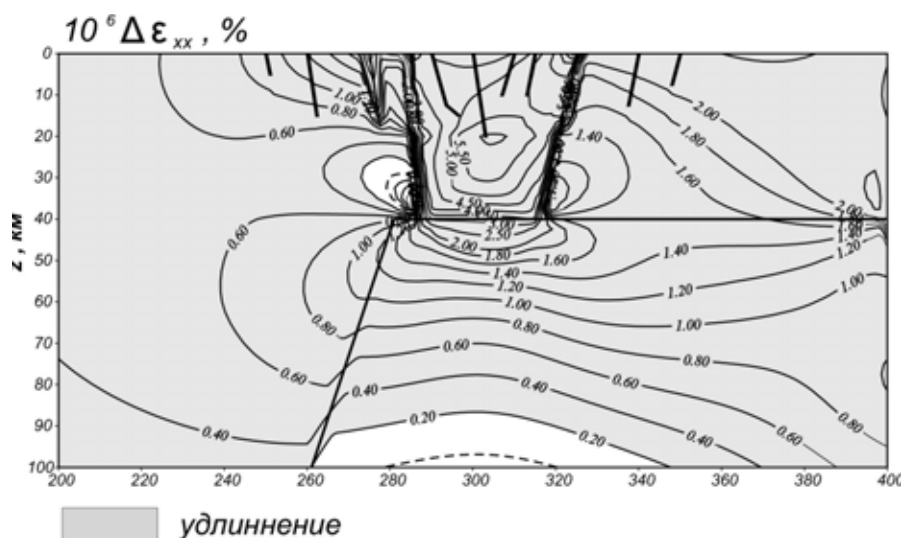


Рис. 3 – Вязкоупругое деформирование Байкальской рифтовой зоны (начальное положение)

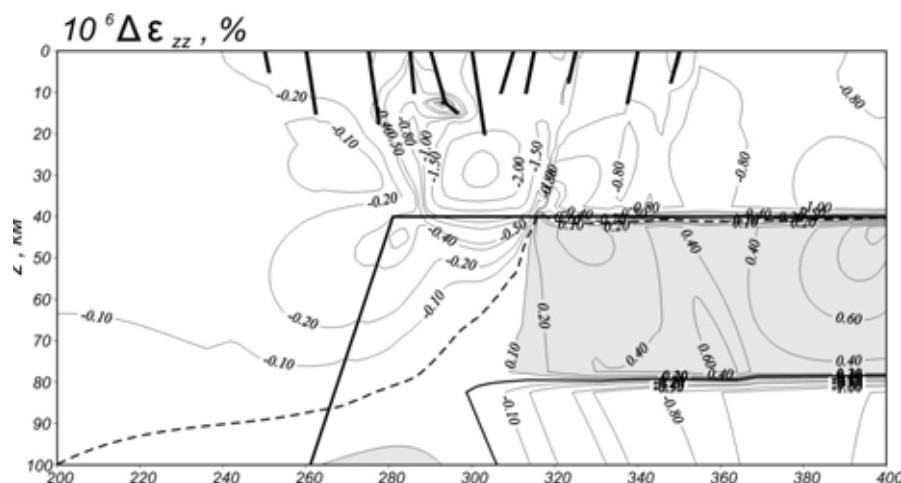


Рис. 4 – Вязкоупругое деформирование Байкальской рифтовой зоны (конечное положение)

Таким образом, предложен и обоснован один из возможных механизмов пассивного расширения Байкальской рифтовой зоны.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных

Исследований (грант № 00-05-65442), а также Интеграционных проектов СО РАН № 27 и № 77.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дементьев А.Д., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Деформирование и разрушение природных объектов. Новосибирск, Издательство Новосибирского Аграрного Университета, 2001.– 220 с.
2. Дядьков П.Г. Назаров Л.А., Назарова Л.А. Численное моделирование напряженного состояния земной коры и условий возникновения динамической неустойчивости сейсмоактивных разломов при рифтогенезе // Геология и геофизика.–1997.–Т. 38.–№ 12.–С. 2001–2010.
3. Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И. и др. Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии: Сб. научн. тр., – М., 1993, –Вып. 1.–С. 111-122.

УДК 622.794

Е.И. Назимко, Е.Е. Гарковенко

### **ДИНАМИКА ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВЛАГИ В ПОРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ОСАДКА**

Експериментальними дослідженнями мікроструктури кека встановлена еволюція морфології порового середовища. Виконане дослідження руху межі розподілу змочуваної та незмочуваної фаз в каналах осаду. Показана динаміка змінювання капілярного тиску в порах осадів при різних значеннях насичення порового середовища вологою.

### **DYNAMICS OF MOISTURE MOVING PROCESS IN POROUS SPACE OF DEPOSIT**

The experimental researches of keks microstructure establish evolution of porous environment morphology. The researches of border movement of the unit moistened and not moistened phases in deposit channels are executed. Dynamics of change capillar pressure in pores deposits is shown at different meanings of saturation porous environment moisture.

Тонкие фракции материалов представляют основную трудность для процессов обезвоживания. Скорость удаления влаги зависит от ряда динамических воздействий – от приложенного перепада давлений, от сопротивления осадка, от перемещения границы раздела фаз в капиллярах, а также от микроструктуры порового пространства. В свою очередь микроструктура осадка определяется не только его гранулометрическим составом, но и параметрами динамического воздействия на осадок, подвергаемый обезвоживанию механическими методами.

Микроскопические исследования свидетельствует о том, что при вакуумном фильтровании в зоне набора осадка (фильтрования) в его микроструктуре преобладают поры округлой формы или близкой к ней. Обработка шлифов позволила выявить, что в первоначальной фазе просушки стенки пор приобретают микровпадины и микровыступы, в целом поры чаще еще сохраняют форму, близкую к округлой. Образующиеся при перестройке пор микровпадины и микровыступы на их поверхности могут служить своеобразными ловушками для самых тонких частиц твердой фазы, удаляемой с фильтратом. Установлено также, что с течением времени под воздействием динамических изменений