

УДК 550.348

Н. П. СТЕПАНЕНКО¹

ОБЪЕМНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТЯНЬ-ШАНЯ

Жылу ағыны картасы және жер қыртысының көлемдік нобайы негізінде жер қыртысының температуралық үлгісін жасау әдісі баяндалған. Үлгілеу нәтижелері сейсмикалық процестің плюмтектоникалық жаратылысы тұрғысынан түсіндіріледі. Температуралық өрістің қалыпты жағдайдан ауытқуы арқылы ірі сілкіністердің кеңістікте таралуы және олардың ошақтарындағы температурасы жөнінде пікір айтуға болады.

Изложена методика разработки температурной модели земной коры на основе карты теплового потока и объемной геофизической модели земной коры. Результаты моделирования интерпретируются с позиций плюмтектонической природы сейсмических процессов. По аномалиям температурного поля можно судить о пространственном режиме сильных землетрясений и температуре в их очагах.

The technique for development of the earth crust temperature model on the base of a heat flow map and a 3-D geophysical model of the earth crust is stated. Modeling results are interpreted in terms of plumtectonic nature of seismic processes. Heat field anomalies permit to conclude about spatial regime of strong earthquakes as well as temperature in their sources.

Процесс сейсмотектонической активизации земной коры, обусловленный накоплением упругой энергии за счет деформации горных пород, формируется изменениями термодинамических (в числе других) характеристик, предопределяющих пространственно-временную структуру теплового поля в ее консолидированной части. Энергетическая сущность этого поля позволяет использовать его параметры для разработки численных моделей напряженно-деформированного состояния исследуемой среды, в том числе вертикальных и горизонтальных перемещений, в комплексе работ по решению проблем физики очага и прогноза землетрясений. В связи с этим настоящая статья посвящена созданию численной объемной температурной модели в составе многопараметрического моделирования земной коры [5]. При этом переинтерпретированы с единых методических позиций и обобщены материалы глубинных сейсмических зондирований асейсмичных и переходных к высокосейсмичным территорий [7], разработаны и реализованы методики профильной томографии коры высокосейсмичных орогенов по материалам региональной сейсмологии [8] и сейсмогравитационного моделирования [6]. Расчет P- и S-скоростных моделей по системам годографов ГСЗ и профильной

томографии проводился с применением решения обратной задачи рефрагированных волн [2]. Плотностные модели разработаны на основе P-скоростных с применением карты наблюдаемого поля силы тяжести.

Расчет значений температуры в узлах равномерной трехмерной матрицы с шагом 20x20 км по латерали и 2,5 км по вертикали проводился по методике Е. А. Любимовой [1]. Исходные данные: значения теплового потока (ТП) для каждого столбца матрицы в мВт/м² по изданной в 1991 году одноименной карте СССР масштаба 1:5 000 000 под редакцией В. В. Гордиенко и У. И. Моисеенко, а также значения скорости V_p в км/с и плотности ρ в г/см³ для всех узлов трехмерной матрицы, полученные в результате P-скоростного и сейсмогравитационного моделирования. Для точек каждого столбца матрицы вычислены температуры i -го слоя T_i по формуле

$$T_i = T_{i-1} + \frac{ТП_{i-1} - 0,5TГ_i \cdot \Delta Z_i}{\lambda_i} DZ_i,$$

где $ТП_i$ – тепловой поток в слое (на поверхности равен наблюдаемому тепловому потоку); $TГ_i$ – теплогенерация слоя: $TГ = 1,35 \exp 1,5 (6 - V_p)$; λ_i – коэффициент теплопроводности слоя, заданный в соответствии с ρ ; $TГ_i \cdot DZ_i$ – фоновый (ра-

¹ Казахстан, 050060, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 75а, Институт сейсмологии МОН РК.

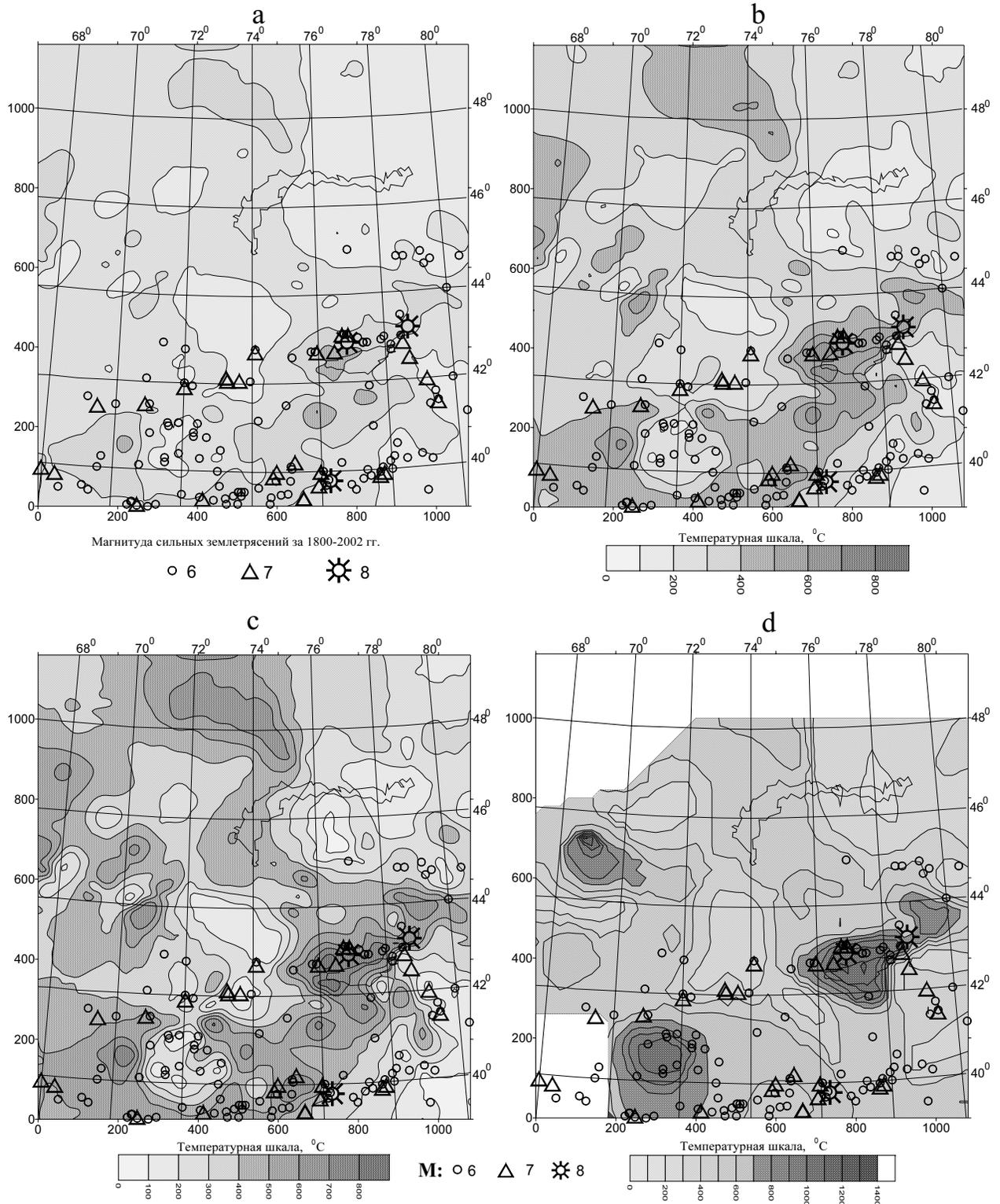


Рис. 1. Температурные срезы земной коры на гипсометрических уровнях:
 а – 15 км, б – 25 км, с – 35 км, д – на подошве земной коры

диоогенный) тепловой поток; DZ_i – мощность i -го слоя (в нашем случае $DZ_i = 2,5$ км).

Итоговые расчетные данные: значения температуры и фонового теплового потока в узло-

вых точках матрицы и суммарного фонового потока для каждого столбца.

Результаты моделирования иллюстрируются серией температурных срезов на гипсометри-

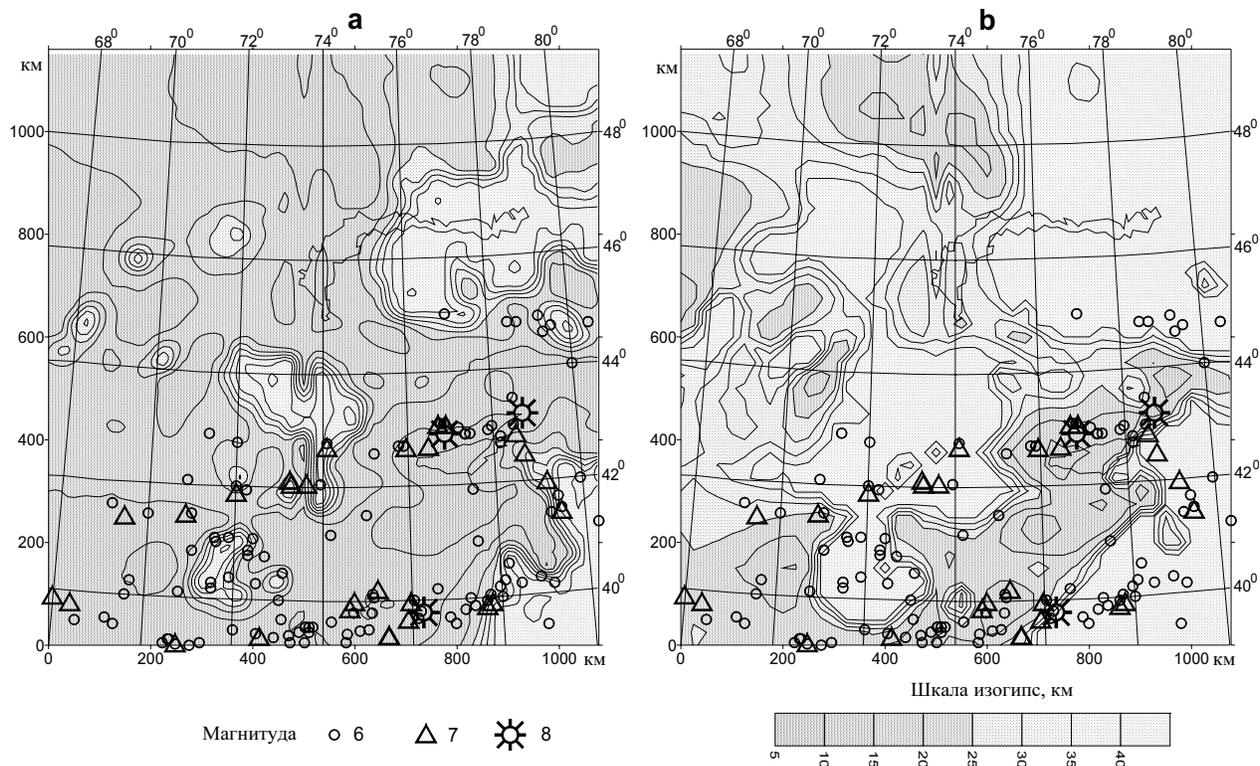


Рис. 2. Структурные схемы температурных уровней в земной коре: а – 250 °С, б – 400 °С

ческих уровнях 15; 25 и 35 км и на подошве земной коры (рис.1), а также структурными схемами температурных уровней 250 и 400 °С (рис.2). Анализ полученных результатов проводится исходя из неоднократно обозначенной ранее [3,9] приверженности к версии о плюмтектонической природе сейсмических процессов, вызывающих сильные (M_b6,0) землетрясения. Поэтому для сопоставительной оценки взаимного соответствия температурных полей пространственному режиму сейсмичности региона на рисунках показано плановое положение очагов сильных землетрясений за 1880–2002 гг. по каталогу А. Нурмагамбетова, А. Сыдыкова.

Срез на уровне подошвы земной коры (см. рис. 1, d) характеризуется максимальными значениями температуры (более 1100 °С) и локализацией высокотемпературных зон. Ограниченная освещенность периферии этого среза на севере, северо-западе и юго-западе связана с отсутствием здесь данных плотностного моделирования. Кроме того, на юге площади, восточнее меридиана 74°E и южнее широты 41°N, результаты вычислений менее надежны остальных из-за ориентировочных оценок значений всех исходных

параметров – теплового потока, скорости, плотности. С учетом этих оговорок отметим, что наиболее надежная и значимая аномальная температурная зона охватывает Иссык-Кульскую впадину с обрамляющими ее орогенами Северного и Южного Тянь-Шаня. Умеренными значениями температуры характеризуется северо-восточное продолжение этой зоны, охватывающее восточную периферию хребтов Заилийский и Кунгей-Алатау и юго-западную – Жонгарского Алатау. Иссык-Кульская аномалия связана с основным для региона мантийным плюмом, сужающийся и отклоняющийся на юг ствол которого прослежен до максимальной глубины (500 км) изученной томографией структуры мантии [4]. Эта аномалия является основной, обуславливающей и пространственно контролирующей режим сейсмичности Северного Тянь-Шаня.

Следующей по контрастности и значимости для региона является температурная аномалия на срезе подошвы коры, локализующаяся в западной половине Ферганской впадины и ее юго-западном орогенном обрамлении. Характерной особенностью этой аномалии является существенно ограниченный по вертикали объем при-

подошвенной коровой и мантийной подкоровой частей разогретого субстрата по сравнению с Иссык-Кульской [4]. Мантийная часть его разогретого объема является латеральным подкоровым отклонением на запад упомянутого основного памир-тянь-шаньского плюма, надкоровая – локальным волноводом, перекрытым мощным высокоскоростным блоком базитового комплекса консолидированной коры, влияние которого на ее температурный режим сказывается на вышележащих гипсометрических уровнях.

Следующая, значительно меньшая по площади, высокотемпературная аномалия выявлена на срезе подошвы коры в центре трапеции, заключенной в пределах 44–46°N и 68–70°E, контролируется узлом пересечения профилей ГСЗ Меридиан, Жалпакского, Уванасского и частично Песчаного. Из мантии она подстилается надежно выявленной на профиле Меридиан по ширине и по глубине (до 60 км) низкоскоростной аномалией, на поверхности – локальной аномалией теплового потока до значений выше 100 МВт/м². При продвижении по коре вверх от подошвы аномалия быстро затухает и, судя по отсутствию в этом районе землетрясений с $M > 6$, не способна оказывать большого влияния на сейсмический режим. Аналогичную оценку, в смысле возможности генерации сильных землетрясений, можно дать другим территориям в северной половине рассматриваемого планшета, характеризующимся умеренно повышенными значениями температуры на срезе подошвы коры. Южная половина территории, где земная кора подвержена влиянию разветвляющихся высокотемпературных полей и постоянно регистрируются сильные и ощутимые землетрясения, заслуживает более детального анализа.

Контуры высокотемпературных полей на срезах 35 км (см. рис. 1,с), 25 км (см. рис.1,б) и 15 км (см. рис. 1, а) в общих чертах идентичны, а абсолютные значения температуры, максимумы которых в плане приурочены или тяготеют к ядрам аномалий на подошве коры, убывают согласно с убыванием глубины срезов. Исключением в этой закономерности является зона Ферганской впадины, где значения температуры контрастно изменяются от аномальных на подошве коры до низких выше, начиная уже со среза 35 км. Это обусловлено аномальным уве-

личением мощности базитового слоя, представленного породами с высокими значениями плотности и скорости. Верхняя часть разреза коры здесь представлена осадочным чехлом также увеличенной мощности.

Землетрясения с $M=6$ распределены по южной части территории более равномерно, чем с $M=7\text{--}8$, контролируемые внешние контуры высокотемпературного поля коры. Здесь подкоровая мантия представлена практически сплошным плюмом, подстилающим всю территорию высокосейсмичных орогенов. Площадь сечения плюма уменьшается с глубиной. В северной части территории подкоровые плюмы, прослеживаемые на большую глубину, отсутствуют, как и очаги сильных землетрясений, а поля повышенных значений температуры на всех внутрикоровых срезах формируются, вероятнее всего, источниками внутрикорового радиогенного тепла.

По признаку наилучшего совпадения в плане высокоградиентных зон температурного поля на срезах (см. рис. 1, а–d) и положения очагов землетрясений можно судить о диапазоне значений глубин последних: на восточном обрамлении Тянь-Шаня, на границе западной части Северного Тянь-Шаня с Казахским щитом и южной границе Кокшаал-Алайской зоны орогенов с Таримом глубина очагов с $M=7$, вероятнее всего, составляет 25–35 км (см. рис.1, с,d), на границе восточной части Северного Тянь-Шаня с Казахским щитом – 15–25 км (см. рис. 1, а-б). Глубина всех очагов с $M \geq 8$ повышена (см. рис. 1, b-d): Кеминского – 25–35 км, Чиликского и Кокшаалского >35 км. Периферия Ферганской впадины обрамлена очагами $M \sim 6$ с глубиной 25–35 км.

Обращаясь к структурным схемам (см. рис. 2, а,б), в общих чертах повторяющим поля повышенных значений температуры на внутрикоровых срезах (см. рис. 1, а-с), мы можем оценить наиболее вероятный температурный режим в очаговых зонах. Например, все очаги $M=6$ ферганского обрамления и $M=6\text{--}7$ в зоне сочленения хребтов Таласский Алатау и Киргизский (42°N,74°E), а также на юго-восточной границе Тянь-Шаня с Таримом генерируются близ температурного уровня 250 °C (см. рис. 2, а), а остальные – в пределах уровня 400 °C (см. рис. 2, б).

Таким образом, дополнительно к исходным

(базовым) геофизическим параметрам (V_p, V_s, γ), в земной коре получено температурное поле, что в комплексе дает возможность ее районирования по значениям упругопрочностных и энергетических характеристик [5]. Результаты заслуживают внимания при фундаментальных и прикладных исследованиях по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений, в том числе геофизическом мониторинге сейсмогенерирующей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любимова Е.А., Любошиц В.М., Парфенюк О.И. Численные модели тепловых полей Земли. М.: Наука, 1983. 126 с.
2. Мишенькина З.Р., Шелудько И.Ф., Крылов С.В. Использование линеаризованной постановки обратной кинематической задачи для двумерных полей времени $t(x, l)$ рефрагированных волн // Численные методы в сейсмических исследованиях. Новосибирск: Наука, 1983. С.140-152.
3. Нуситов Е.Н., Оспанов А.Б., Шацлов В.И., Тимуш А.В. Глубинное строение орогенов Гиндукуша, Памира, Тянь-Шаня и Казахского щита // Сейсмические исследования земной коры. Новосибирск: СО РАН, 2004. С.223-231.
4. Шацлов В.И. Региональные особенности строения земной коры в связи с сейсмичностью // Сейсмическое районирование Республики Казахстан. Алматы: Эверо, 2000. С.65-74.
5. Шацлов В.И., Горбунов П.Н. Упруго-прочностные характеристики земной коры Тянь-Шаня // Прогноз землетрясений и глубинная геодинамика. Алматы: Эверо, 1997. С.359-374.
6. Шацлов В.И., Горбунов П.Н., Белоусова Н.П., Степаненко Н.П. Строение тектоносферы Тянь-Шаня на основе новой геофизической информации // Inland Earthquake. 1997. V. 11, N3. С.265-272.
7. Шацлов В.И., Горбунов П.Н., Н.П. Степаненко и др. Скоростные модели земной коры Казахстана. Алматы: Евразия, 1993. 105 с.
8. Шацлов В.И., Сайитбекова А.М. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии // Доклады НАН РК. 1994. №6. С.47-52.
9. Шацлов В.И., Степаненко Н.П. Геофизические критерии выявления очаговых зон сильных землетрясений на Тянь-Шане // Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных районов. Москва; Бишкек, 2003. С.129-139.