

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ В РАЙОНЕ ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ**

*А.Ю. Полец, Т.К. Злобин*

*ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022;  
e-mail: polec84@mail.ru*

Поступила в редакцию 15 января 2013 г.

Катастрофическое Шикотанское землетрясение 4(5) октября 1994 г. произошло в Тихом океане, его очаг располагался в 80 км восточнее о. Шикотан. Для оценки напряженного состояния земной коры в этом районе применялся метод катакластического анализа совокупностей механизмов землетрясений. Выполненная реконструкция параметров современного напряженного состояния земной коры и верхней мантии в районе Южных Курильских островов позволила установить, что для этого района, с одной стороны, характерно наличие обширных областей устойчивого поведения параметров тензора напряжений, а с другой – присутствие локальных участков аномально быстрого изменения этих параметров.

**Ключевые слова:** землетрясения, земная кора, верхняя мантия, напряженное состояние, о. Шикотан, Южные Курильские острова.

**ВВЕДЕНИЕ**

4 (5) октября 1994 г. в 80 км восточнее о. Шикотан (Южные Курильские о-ва) произошло землетрясение с моментной магнитудой  $M_w = 8.3$ . Шикотанское землетрясение 1994 г. является самым сильным событием в районе Южных Курильских островов за последние годы [10, 15, 18].

Цель исследования – выполнить реконструкцию параметров напряженного состояния земной коры и верхней мантии до и после Шикотанского землетрясения.

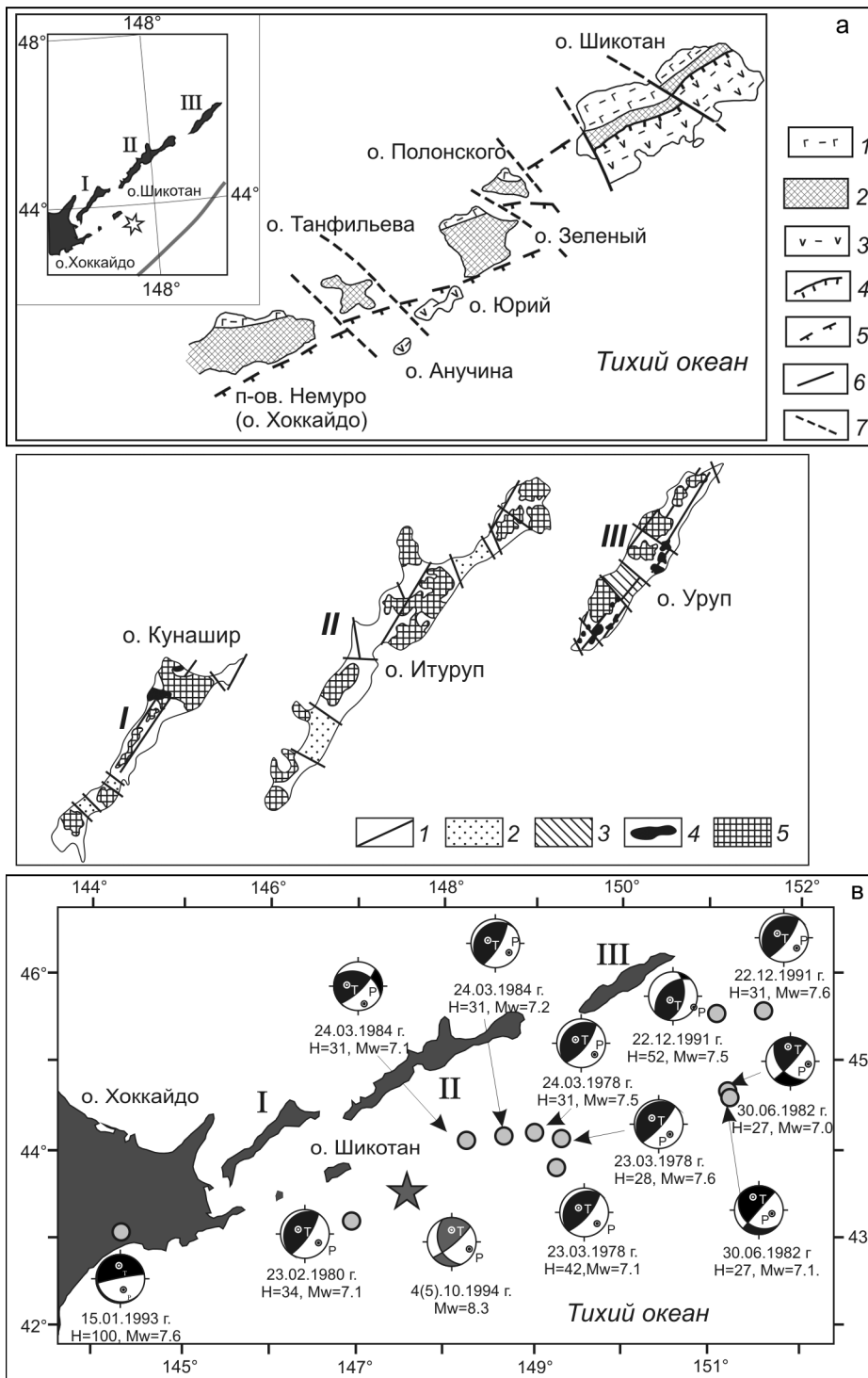
Задача исследования – выявить основные особенности поля тектонических напряжений в районе Южных Курильских островов и прилегающих акваторий.

Расположение очагов землетрясений в Сахалино-Курильском регионе дает возможность предполагать непосредственную связь его сейсмичности с основными тектоническими структурами [10–14]. Тектонические процессы в земной коре и мантии приводят здесь к созданию больших разностей напряжений в узкой фокальной зоне, наклонно падающей в сторону континента. Исследование поля тектонических напряжений в районе Южных Курильских островов выполнено с применением современного метода катакластического анализа совокупностей ме-

ханизмов очагов землетрясений [22]. Реконструкция напряженного состояния позволила изучить особенности поля тектонических напряжений, действовавших перед и после него. До сих пор этот вопрос был затронут только в работе [32].

**КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Район исследований расположен в области сочленения крупнейших морфоструктур: Евразийского континента и Тихого океана. Эта зона, включающая Курило-Камчатскую островную дугу и прилегающие к ней акватории, отличается тектоно-магматическими процессами, которые проявляются в активном вулканизме и высокой сейсмичности. Внешняя часть островной дуги представлена островами Малой гряды, а внутренняя – Большой. Малая Курильская гряда (МКГ) представляет собой единственный выступающий над водой участок внешней дуги, сменяющийся в северо-восточном направлении подводным хр. Витязя. Самые крупные острова – Шикотан и Зеленый (рис. 1 а) [15]. Южное звено Большой Курильской гряды (БКГ) включает три крупных острова – Кунашир, Итуруп, Уруп (рис. 1 б), а также мелкие вулканические острова – Черные братья и Броутона. Особенности рельефа Курильских островов в основном определяются вулканическими и тектони-



**Рис. 1.** Схематическая карта магматических формаций Малой Курильской гряды. Тектоническая основа карты составлена с учетом особенностей сформировавших дугу деформаций, установленных Б.Д. Голионко [5] (а).

1–3 – магматические формации: 1 – базальтовая, 2 – шохонитовая, 3 – габбро-диорит-андезибазальтовая; 4–5 – надвиги: 4 – достоверные, 5 – предполагаемые; 6–7 – сдвиги: 6 – достоверные, 7 – предполагаемые [6].

Система разломов на островах Большой Курильской гряды (б).

1 – важнейшие разломы; поперечные грабены: 2 – выполненные четвертичными отложениями; 3 – выполненные неогеновыми отложениями; 4 – интрузивные тела формации кварцевых диоритов 5 – продукты деятельности четвертичных вулканов [24].

Механизмы сильных землетрясений ( $M_w \geq 7.0$ ) с 1978 по 1993 гг. (в).

Звездами на рис. 1 в и на врезке рис. 1 а показан – эпицентр Шикотанского землетрясения.

ческими факторами, действующими и в настоящее время [24].

### Тектонические дислокации Курильской островной дуги

Вопросы тектоники Курильской островной дуги в различное время рассматривались в работах многих ученых [1–3, 9, 16, 17, 20, 24–26, 28, 30 и др.]. На островах МКГ и БКГ разломы образуют систему двух направлений: северо-восточного (продольные) и северо-западного (поперечные) (рис. 1 а, б). Ориентация продольных разломов совпадает с простиранием островной дуги [24, 26]. Для о. Шикотан характерны поперечные разломы с устойчивым северо-западным простиранием. Пликативные дислокации, в пределах МКГ, выражены в более слабой форме и имеют неоднородную структуру [24]. Таким образом, в пределах Прихотской зоны южной части Курильской островной дуги, длительно развивались две разноориентированные системы разрывов. Одна из них объединяет кулисообразно расположенные разломы северо-восточной ориентировки, они находились преимущественно в условиях горизонтального растяжения. Другая система разрывов объединяет поперечные разломы, соответствующие зонам горизонтального сжатия [25].

### МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Метод катакластического анализа (МКА) совокупностей механизмов очагов землетрясений является развитием методологии изучения природных полей тектонических напряжений, включающей методы реконструкции ориентации осей главных напряжений и сейсмотектонических деформаций по данным о совокупностях механизмов очагов землетрясений [4, 7, 8, 29, 31]. МКА позволяет определять не только ориентацию, но и величины главных напряжений, этот метод включает в себя определение всех компонентов напряжений и приращений квазипластических (трещинных) деформаций.

Исходными данными для МКА являются сейсмологические параметры механизмов очагов землетрясений (решения тензора момента центра землетрясений), данные о величине напряжений, снимаемых в очагах сильных землетрясений, топография и мощности основных слоев земной коры (осадки, гранитный и базальтовые слои). В рамках МКА реконструкция компонентов тензоров напряжений, приращений квазипластических деформаций и оценка механических свойств (включая параметры прочности) осуществляются в несколько этапов расчетов.

**Первый этап.** Выполняется расчет ориентации трех главных осей и значение коэффициента Лоде-

Надаи для тензоров напряжений и приращений сейсмотектонических деформаций.

**Второй этап.** Определяются относительные значения эффективного всестороннего давления  $p^*$  и модуля максимального касательного напряжения  $\tau$ . Величины этих компонентов тензора напряжений рассчитываются с точностью до неизвестного значения внутреннего сцепления массивов горных пород  $\tau_f$ , которое можно считать постоянным для исследуемого участка земной коры.

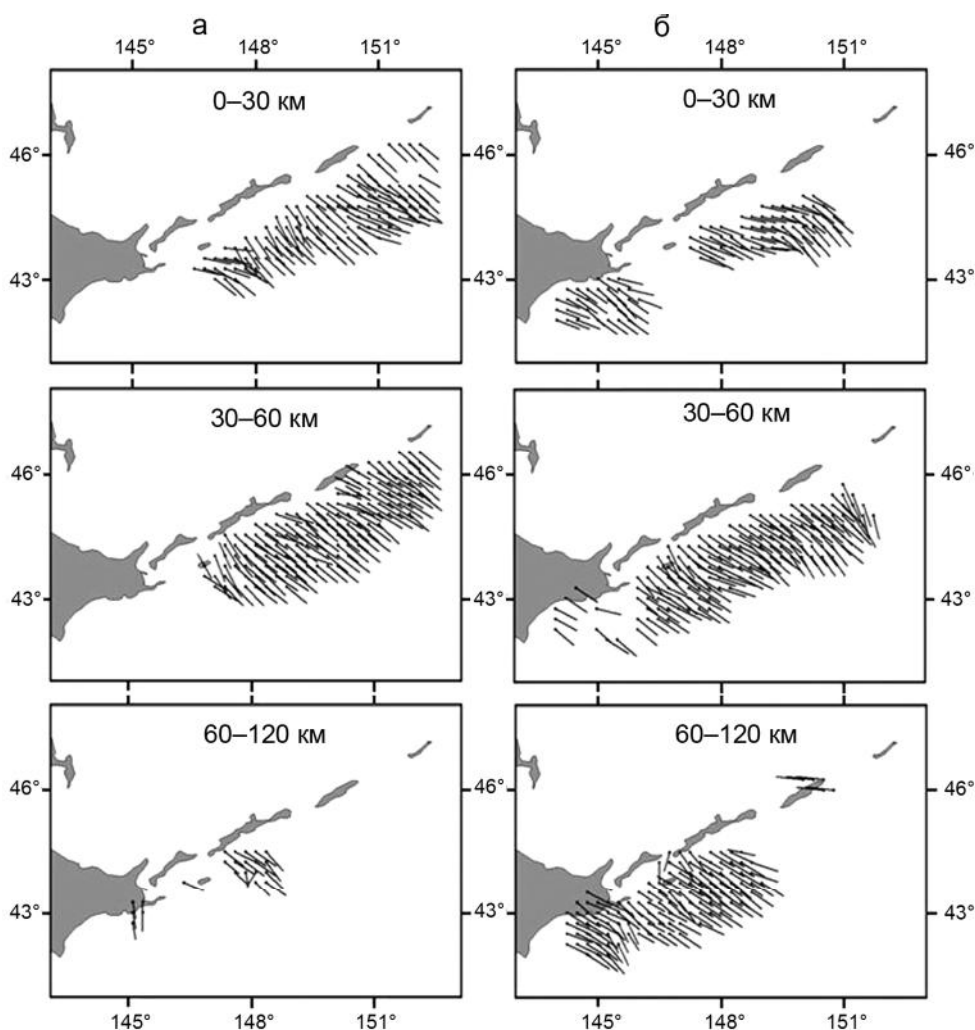
**Третий этап.** Осуществляется оценка величины  $\tau_f$  – эффективная прочность сцепления массива с масштабом осреднения, соответствующим реконструируемым напряжениям. Для этого используется информация о величине напряжений, снимаемых в очаге сильного землетрясения, произошедшего в исследуемом регионе. Алгоритм расчета связан с возможностью после первых двух этапов оценить с точностью до нормировки на неизвестную величину  $\tau_f$  напряжения  $\Delta\tau_n$ , снимаемые вдоль произвольно ориентированной плоскости [22].

### РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Реконструкция напряженного состояния выполнялась на основе данных СМТ (тензоров моментов центроидов) – решений для землетрясений из каталога NEIC [33] в виде двойного диполя. На основе данных NEIC был создан региональный каталог, в который вошли 228 землетрясений ( $4.9 \leq M_w \leq 7.8$ ), произошедшие с февраля 1977 г. по октябрь 1993 г., и 253 землетрясения ( $4.7 \leq M_w \leq 7.0$ ), произошедшие с января 1997 г. по октябрь 2007 г. На рис. 1 в изображены механизмы землетрясений с магнитудами более 7.0 1978–1993 гг. Обработка исходных сейсмологических данных производилась в пределах области  $40\text{--}48^\circ$  с.ш. и  $143^\circ\text{--}153^\circ$  в.д., в узлах сетки  $0.25\text{--}0.25^\circ$  в латеральном направлении, для разных глубинных интервалов (0–30, 30–60, 60–120 км) и разных временных этапов, до катастрофического Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г., (рис. 2) и в постафтершоковый период (после 1996 г.) [18, 19, 35]. Выполнение всех процедур формирования однородных выборок механизмов очагов землетрясений удалось завершить для 112, 141, 22 (до 1994 г.) и 60, 140, 37 (после 1996 г.) квазиоднородных доменов, соответствующих глубинам 0–30, 30–60, 60–120 км, при числе землетрясений в таких выборках не менее шести.

### Результаты первого этапа расчета

При рассмотрении ориентаций осей главных напряжений (рис. 2, 7) прослеживается явная их связь с простиранием основных тектонических структур (Курильского желоба, Курильской островной дуги).



**Рис. 2.** Ориентация проекции на горизонтальную плоскость осей погружения главных напряжений максимального девиаторного сжатия  $\sigma_3$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.

Сопоставление проводилось для всех глубинных интервалов. Чем длиннее стрелки, тем ближе к горизонту ориентирована соответствующая ось напряжения (рис. 2, 7). Полученные результаты показывают, для всех глубинных диапазонов в большинстве случаев оси максимального девиаторного сжатия  $\sigma_3$  ориентированы почти ортогонально простиранию Курильского желоба с пологим погружением на юго-восток под океаническую плиту (рис. 2). Угол их погружения уменьшается с приближением к островной дуге, в отдельных местах наблюдается смена направления погружения. Достаточно резкая смена простирания осей  $\sigma_3$  прослеживается в области сопряжения Японской и Курило-Камчатской сейсмофокальных областей.

Анализ построенных диаграмм (рис. 3 а, б) показал: азимут простирания осей сжатия в зависимости от глубины может варьироваться от 90 до 180°.

В области подготовки Шикотанского землетрясения (глубина 0–30 км) азимут осей погружения главного сжимающего напряжения имел преимущество в промежутке 130–140° (рис. 3 а). В постафтершоковый период – 110–120° (рис. 3 б). С увеличением глубины (30–60 и 60–120 км) – 120–130° (рис. 3 а, б). В основном смена ориентации осей сжатия от среднего простирания для южной части Курильской сейсмоактивной зоны приурочена к юго-западному участку в районе о. Хоккайдо, а также северо-восточнее, ближе к средней части Курильской гряды, где наблюдаются резкие отклонения осей. Особенно хорошо это видно в интервале глубин 60–120 км. Здесь оси максимального девиаторного сжатия ориентированы не в характерную для них сторону океана, а в сторону континента (рис. 2 б). С увеличением глубины изменяется и угол наклона осей (рис. 4). На глубинах 0–30 км отмечено преимущество в промежутке

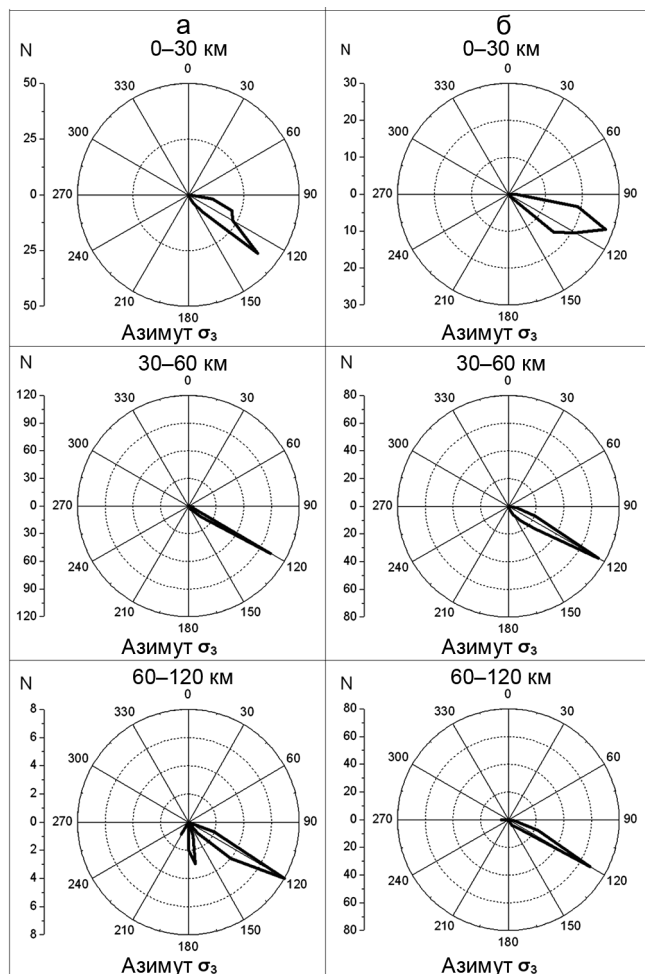


Рис. 3. Диаграммы распределения числа доменов с различными значениями азимутов осей максимального девиаторного сжатия  $\sigma_3$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.

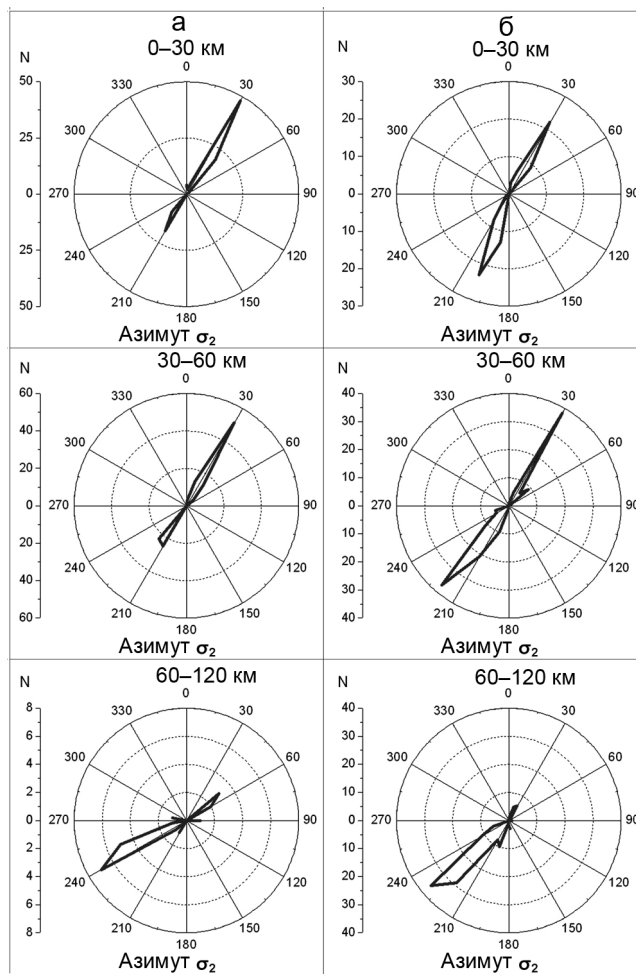


Рис. 5. Диаграммы распределения числа доменов с различными значениями азимутов осей промежуточного главного напряжения  $\sigma_2$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.

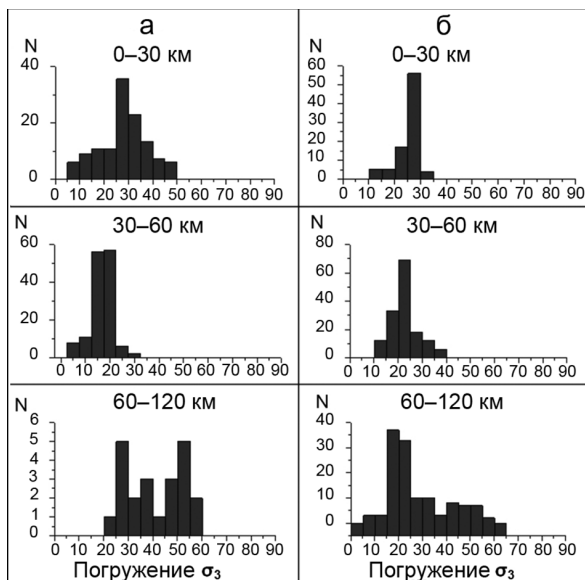


Рис. 4. Диаграммы распределения числа доменов с различными значениями погружения осей максимального девиаторного сжатия  $\sigma_3$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.

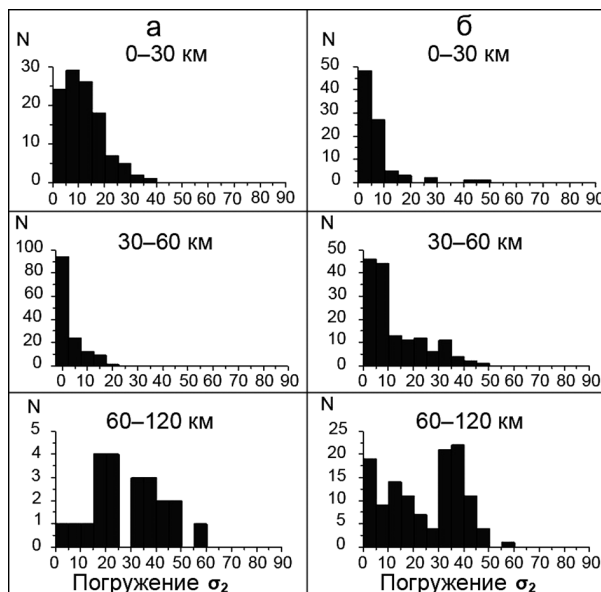


Рис. 6. Диаграммы распределения числа доменов с различными значениями погружения осей промежуточного главного напряжения  $\sigma_2$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.

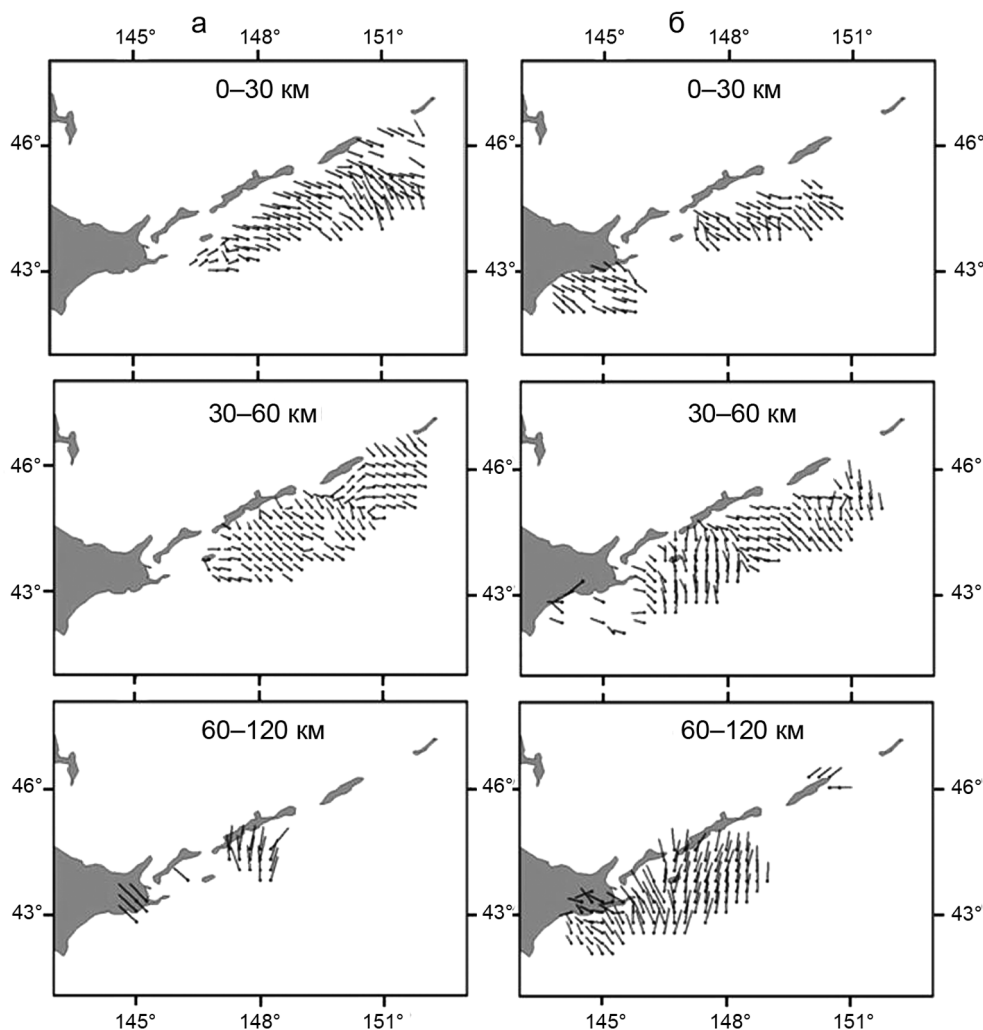
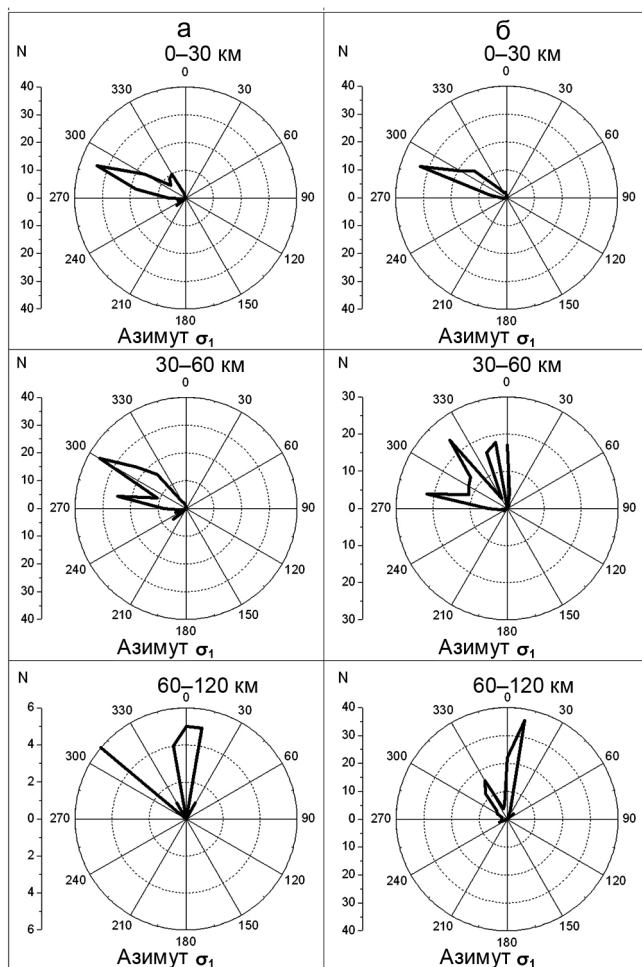


Рис. 7. Ориентация проекции на горизонтальную плоскость осей погружения главных напряжений максимального девиаторного растяжения  $\sigma_1$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.

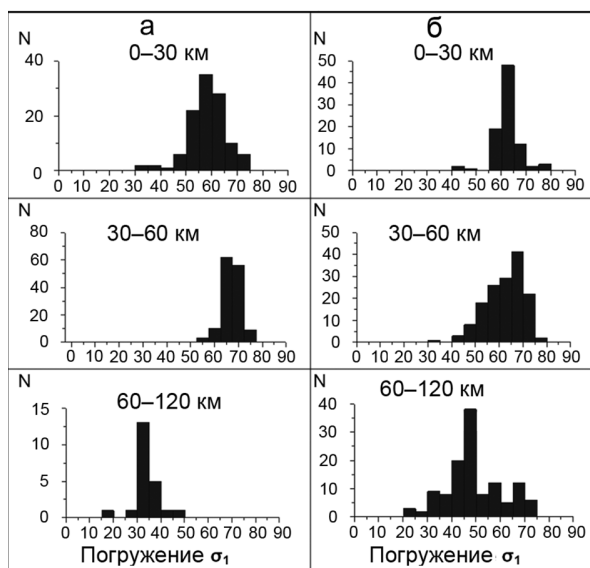
25–30° (рис. 4 а, б), далее с глубиной угол наклона этих осей уменьшается до 20–25° и 15–20°.

Проекции осей промежуточного главного напряжения на горизонтальную плоскость в основном направлены вдоль простирания основных тектонических структур (Курильского желоба, Курильской островной дуги). Азимут простирания осей промежуточного главного напряжения для глубин 0–30 и 30–60 км имеет преимущество в двух хорошо выраженных диапазонах (рис. 5 а, б). В зависимости от глубины первый может варьироваться от 0 до 70°, с максимумом в интервале 30–40° (рис. 5 а, б), а второй – от 190 до 250°. С глубиной (60–120 км) число осей в пределах первого диапазона резко уменьшается (рис. 5 а, б). Угол погружения осей промежуточного главного напряжения в основном 0–10°, интервал глубин – 0–30 км и 30–60 км. На глубинах (60–120 км) угол увеличивается до 30–35° и 35–40° (рис. 6 а, б).

Проекции осей максимального девиаторного растяжения  $\sigma_1$  для всех глубинных уровней, как и проекции осей максимального девиаторного сжатия, ориентированы почти ортогонально простиранию Курильского желоба, с погружением под субконтинентальную плиту (рис. 7). Для осей максимального девиаторного растяжения характерно более крутое погружение в направлении задугового бассейна, чем для осей максимального девиаторного сжатия  $\sigma_3$ . Ориентация осей максимального девиаторного растяжения по сравнению с ориентацией осей максимального девиаторного сжатия имеет более сложный характер. Для всех глубинных интервалов местами отмечаются резкие отклонения этих осей от среднего простирания. Особо следует отметить два участка с преимущественно иной ориентацией осей. Первый – юго-западный вблизи о. Хоккайдо. Япония представляет собой сложное сочленение структур разных на-



**Рис. 8.** Диаграммы распределения числа доменов с различными значениями азимутов осей максимального девиаторного растяжения  $\sigma_1$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.



**Рис. 9.** Диаграммы распределения числа доменов с различными значениями погружения осей максимального девиаторного растяжения  $\sigma_1$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.

правлений, здесь оси главных напряжений сменяют свою ориентировку более чем на  $45^\circ$ . Второй – северо-восточный ближе к средней части Курильской гряды (рис. 7 а, б).

В пределах района исследований азимут простираения осей растяжения обладает еще большим разбросом по сравнению с азимут простираения осей сжатия (рис. 8 а, б). Для глубин 0–30 км как до Шикотанского землетрясения, так и в постафтершоковый период азимут простираения осей растяжения в основном  $290\text{--}300^\circ$  (рис. 8 а, б). С глубиной (30–60, 60–120 км) четко выраженного приоритетного интервала не выявлено. Главным образом, смена ориентации осей от среднего простираения приурочена к юго-западному участку в районе о. Хоккайдо (рис. 7 а, б). Перед Шикотанским землетрясением, интервал глубин составлял 0–30 км, угол погружения осей растяжения преимущественно  $55\text{--}60^\circ$  (рис. 9 а), в постафтершоковый период –  $60\text{--}65^\circ$  (рис. 9 б). На глубинах 30–60 км –  $65\text{--}70^\circ$  (рис. 9 а, б). Однако далее с глубиной (60–120 км) угол наклона резко уменьшается. В области подготовки Шикотанского землетрясения максимум отмечен в интервале  $30\text{--}35^\circ$  (рис. 9 а), в постафтершоковый период в интервале  $45\text{--}50^\circ$  (рис. 9 б).

Полученные в исследуемом районе по результатам реконструкции направления осей главных напряжений в большинстве случаев подчиняются единой закономерности. Оси максимального девиаторного сжатия  $\sigma_3$  и растяжения  $\sigma_1$  для всех глубинных уровней ориентированы почти ортогонально простираению Курильского желоба с пологим погружением под океаническую – оси сжатия и с крутым погружением под субконтинентальную плиту – оси растяжения. Оси промежуточного главного напряжения в основном направлены вдоль простираения океанического желоба. Указанная закономерность ориентации главных осей напряжений на рассмотренных глубинах от 0 до 120 км свидетельствует об однотипности поля напряжений и наличии здесь преимущественного режима горизонтального сжатия (рис. 10 а, б). С глубиной наряду с основным типом напряженного состояния отмечены локальные участки с преимущественным тем или иным режимом поля напряжений. Наиболее ярко это отражается для глубинного интервала 60–120 км (рис. 10 а, б). Здесь помимо преимущественного режима горизонтального сжатия присутствуют локальные участки горизонтального растяжения, сдвига и горизонтального сжатия со сдвигом. В основном изменение характера поля напряжений наблюдается вблизи о. Хоккайдо. Как правило, области локальных аномалий приурочены к сегментам сочленения крупных литосферных плит или участкам резкого изменения простираения границ плит, т. е. к

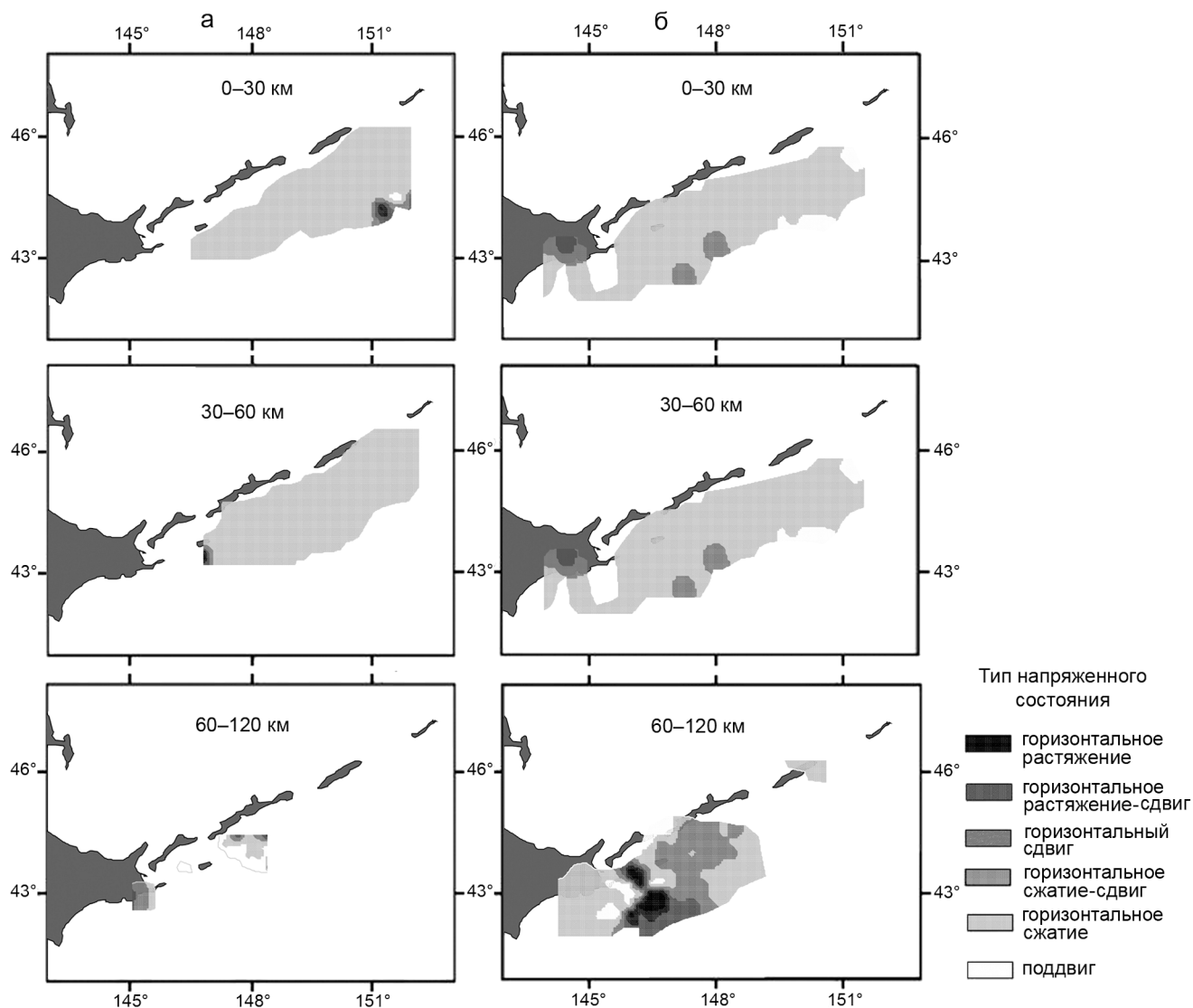


Рис. 10. Тип напряженного состояния исследуемого региона: а – до 1994 г., б – после 1996 г.

участку сопряжения Японской и Курило-Камчатской сейсмофокальных областей.

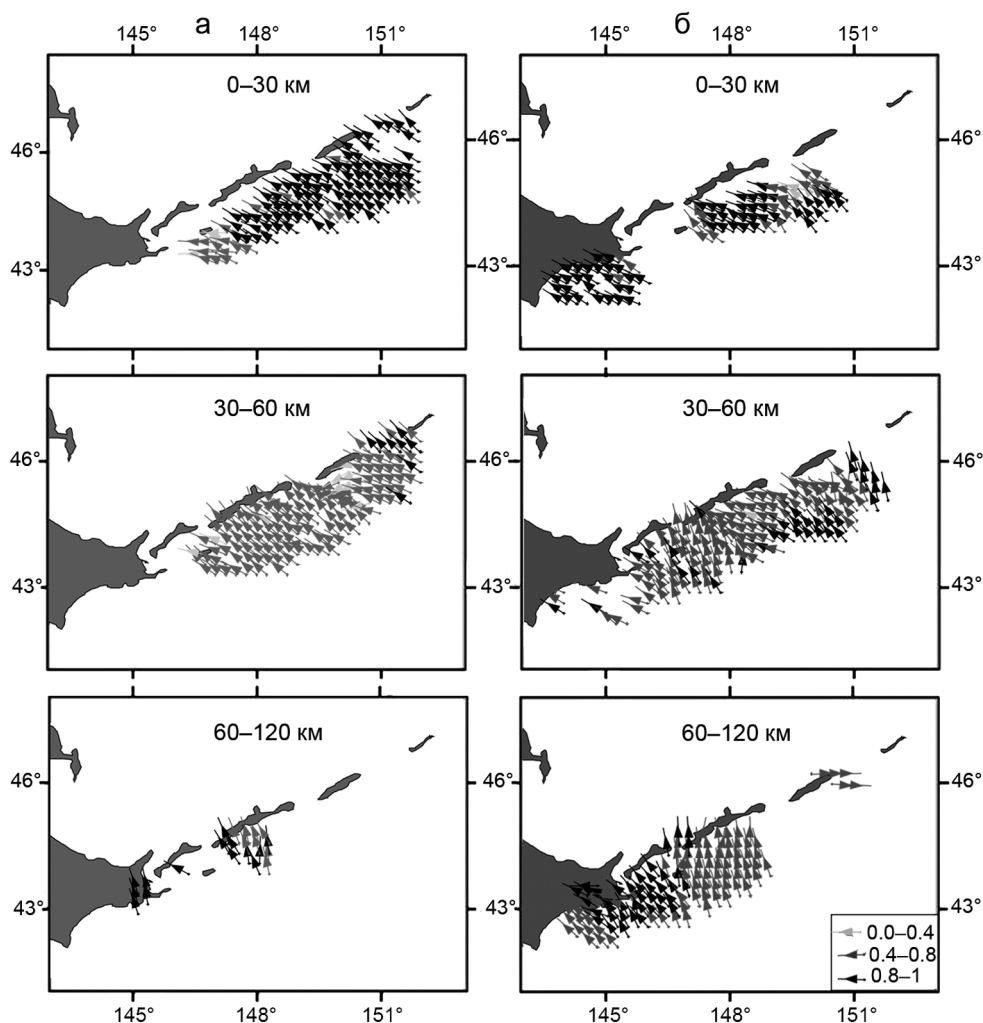
Для исследуемой области основной вид тензора напряжений – чистый сдвиг ( $-0.2 < \mu_\sigma < 0.2$ ), когда алгебраически максимальное и минимальное главные девиаторные напряжения близки друг к другу по абсолютной величине и противоположны по знаку (промежуточное напряжение равно нулю).

#### Результаты второго этапа расчета

Типичная для субдукционных зон ориентация осей главных напряжений отражается в устойчивой ориентации касательных напряжений, действующих на горизонтальных площадках с нормальми к центру Земли, в направлении от Тихоокеанской плиты к континентальной. Такая ориентация соответствует пред-

ставлениям о конвективном механизме воздействия мантии на поддвигающуюся океаническую литосферную плиту, т. е. подобная ориентация показывает направление воздействия активных сил со стороны верхней мантии (рис. 11). Касательные напряжения имеют здесь наиболее устойчивую ориентацию и наибольшую интенсивность, особенно хорошо это видно для интервала глубин 0–30 км (рис. 11 а, б). С глубиной интенсивность касательных напряжений уменьшается. С глубиной (30–60 км), участки с наибольшей интенсивностью поддвиговых касательных напряжений отмечаются со стороны океана, на северо-востоке. На глубинах 60–120 км такой участок прослеживается в районе о. Хоккайдо, при этом оси имеют преимущественную субвертикальную ориентацию с юга на север (рис. 11 а, б).





**Рис. 11.** Ориентация осей подвиговых касательных напряжений  $\tau_z$  на горизонтальных площадках с нормалью в глубину Земли, вместе с их относительной величиной  $\tau_z/\tau$ , где  $\tau$  – максимальные касательные напряжения: а – до 1994 г., б – после 1996 г.

Распределение эффективного всестороннего давления для района исследований носит мозаичный характер. Для всех глубинных уровней повышение значений относительных величин эффективного давления  $p^*/\tau_f$ , (где  $p^* = p_{fl}$  – тектоническое давление минус давления флюида,  $\tau_f$  – среднее для масштаба реконструкции напряжений сцепление массивов горных пород) наблюдается в направлении с юго-запада на северо-восток (рис. 12). С глубиной увеличивается число областей минимального значения этих параметров (0–4), при этом они расположены достаточно мозаично. Для всех глубинных уровней имеются довольно крупные участки, в пределах которых параметр эффективного всестороннего давления принимает значения, отвечающие среднему уровню от 4–12. В интервале глубин 0–30 км область подготовки Шикотанского землетрясения 4 (5) октября 1994 г.

достаточно однородна и соответствует среднему уровню напряжений. Очаг землетрясения находится в области наименьших величин относительного эффективного давления (рис. 12 а) [18, 19].

### Результаты третьего этапа расчета

Для того чтобы перейти от относительных к абсолютным значениям напряжений, необходимо рассчитать среднее для данного масштабного уровня эффективное внутреннее сцепление  $\tau_f$ . Величина сброшенных напряжений для Шикотанского землетрясения  $\Delta\tau_n = 2.1$  МПа получена по формуле Кнопова [34]:

$$\Delta\tau_n = 0.8M_0L_q^{-2}W_q^{-1}, \quad (1)$$

где  $L_q = 120$  км и  $W_q = 60$  км – горизонтальная и вертикальная протяженность очага землетрясения и  $M_0 = 2.1 \cdot 10^{21}$  Н·м из работы [27].

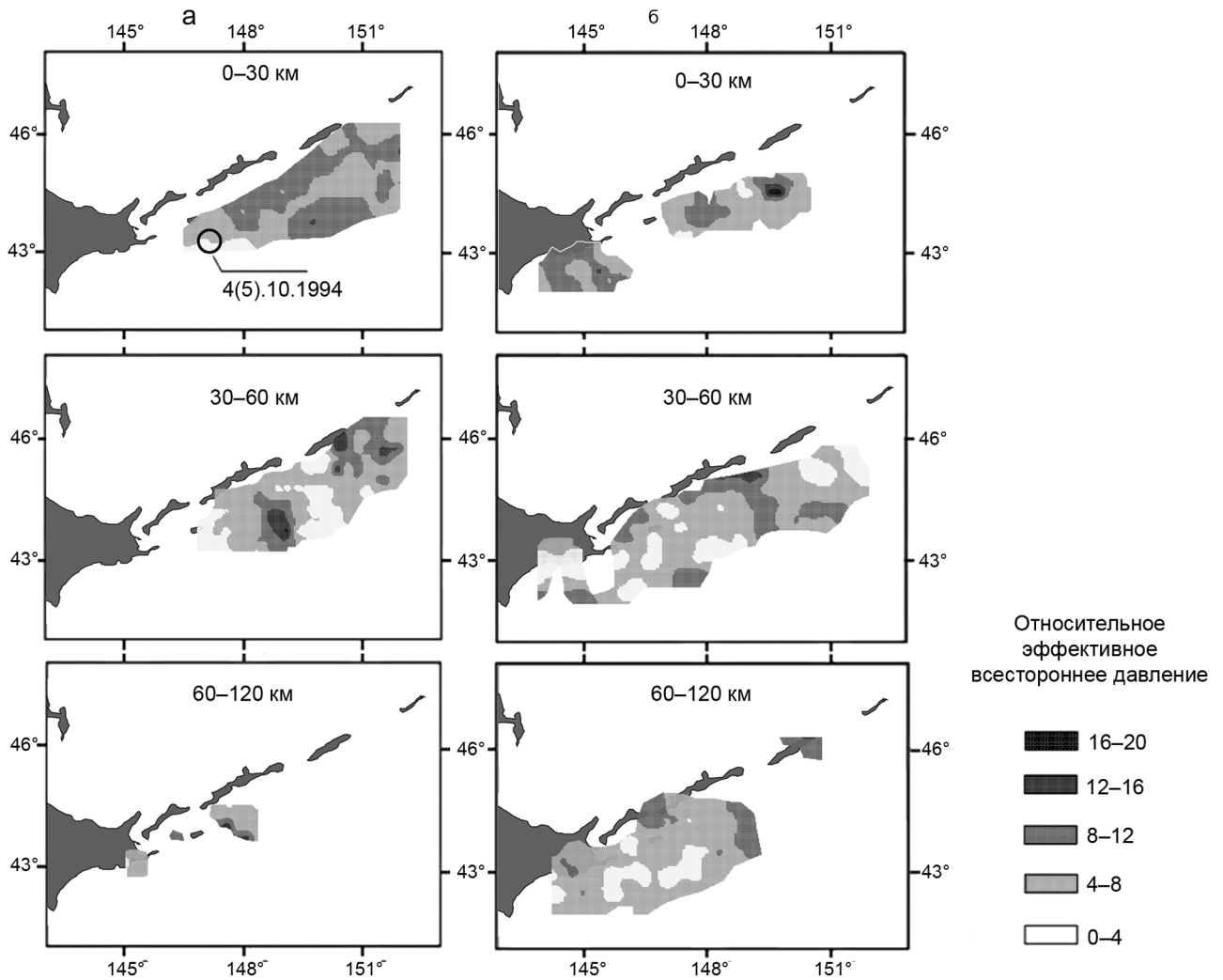


Рис. 12. Распределение относительного эффективного всестороннего давления  $p^*/\tau_f$ : а – до 1994 г., б – после 1996 г.

Величина сброшенных напряжений с точностью до нормировки на неизвестное значение эффективного сцепления массивов пород  $\tau_f$  была получена также по результатам первых двух этапов реконструкции МКА:

$$\Delta\tau_n / \tau_f = 1 - (k_s - k_k) \sigma_{nn}^* / \tau_f, \quad k_s \leq k_k. \quad (2)$$

где  $\sigma_{nn}^* / \tau_f$  – нормальные к плоскости трещины напряжения, нормированные на неизвестное значение  $\tau_f$ .

Используя данные о напряженном состоянии доменов в пределах очага и суммируя вклад в сброшенные напряжения каждого из этих доменов для Шикотанского землетрясения  $\Delta\tau_n / \tau_f = 1.0$ , получим значение эффективного сцепления  $\tau_f = 2.1$  МПа. Пересчет напряжений, действующих в земной коре исследуемого региона, показал, что гипоцентр землетрясения находился вблизи локального минимума эффективного давления – 8 МПа.

### ВЫВОДЫ

Выполненные на основе МКА реконструкции параметров современного поля напряжений до и после Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. позволили установить ряд особенностей регионального поля напряжений.

Характерной особенностью исследуемого региона является ориентация осей главных напряжений: пологое погружение осей максимального девиаторного сжатия под Тихоокеанскую плиту, крутое погружение осей максимального девиаторного растяжения под субконтинентальную плиту и направление осей промежуточного напряжения вдоль простираения основных тектонических структур. В пределах одного и того же района могут наблюдаться отдельные случаи отклонения ориентации осей главных напряжений от выявленной закономерности. Изменение ориентации

наблюдается как с глубиной, так и во времени. Наиболее отчетливо изменение ориентации осей трех главных напряжений отмечается с увеличением глубины. Менее всего подвержено изменению направление напряжения сжатия. Направления двух других напряжений изменяются более существенно. Единая закономерность ориентации осей главных напряжений указывает на явную их связь с простиранием основных тектонических структур – Курильского желоба, Курильской островной дуги.

Типичная для субдукционных зон ориентация осей главных напряжений свидетельствует об однотипности поля и наличии преимущественного режима горизонтального сжатия. С увеличением глубины происходит увеличение локальных областей с разными режимами поля напряжений. В основном изменение характера поля напряжений наблюдается вблизи о. Хоккайдо, в зоне сопряжения Японской и Курило-Камчатской сейсмофокальных областей. Основной тип тензора напряжений земной коры исследуемой области – чистый сдвиг ( $-0.2 < \mu_{\sigma} < 0.2$ ).

В пределах всех глубинных диапазонов наиболее устойчивым параметром тензора напряжений по его распределению в пространстве оказалась ориентация поддвиговых касательных напряжений. Наибольшая интенсивность отмечена для диапазона глубин 0–30 км. Устойчивая ориентация поддвиговых касательных напряжений, действующих на горизонтальных площадках в земной коре, определяет соответствующий тип движения подкорового литосферного вещества как активные усилия современной стадии тектонического процесса.

Область подготовки Шикотанского землетрясения 4 (5) октября 1994 г. в интервале глубин 0–30 км достаточно однородна и соответствует среднему для земной коры Курильской дуги уровню эффективного давления – 10–16 МПа (максимальные касательные напряжения 6–10 МПа). Очаг землетрясения 4(5).10.1994 г. находился вблизи локального минимума (8 МПа). Полученный результат согласуется с концепцией, развиваемой в работах [21, 23].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.В., Рудич Е.М. О месте островных дуг в истории развития структуры Земли // Сов. геология. 1960. № 10. С. 3–23.
2. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
3. Горячев А.В. Основные закономерности тектонического развития Курило-Камчатской зоны. М.: Наука, 1966. 235 с.
4. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
5. Голионко Б.Д. Строение и геологическое развитие южной части Курильской островной дуги в позднем мелу–миоцене в связи с субдукцией Тихоокеанской плиты: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 1992. 23 с.
6. Гранник В.М. Формации и тектоническая природа магматических пород малой Курильской гряды // Докл. РАН. 1998. Т. 359, № 1. С. 70–73.
7. Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений в литосфере. М.: Наука, 1979. С. 7–25.
8. Гущенко О.И. Сеймотектонический стресс–мониторинг литосферы (структурно–кинематический принцип и основные элементы алгоритма) // Докл. РАН. 1996. Т. 346, № 3. С. 399–402.
9. Заварицкий А.Н. Вулканическая зона Курильских островов // Вестн. АН СССР. 1946. № 1. С. 41–48.
10. Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Левин Б.В., Сафонов Д.А., Полец А.Ю., Рудик М.И. Вариации поля упругих напряжений и основные сейсмодислокации в очаговой зоне шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. // Докл. РАН. 2008. Т. 418, № 6. С. 1–4.
11. Злобин Т.К., Сафонов Д.А., Злобина Л.М. Очаги землетрясений и глубинное строение земной коры и верхней мантии по профилю южный Сахалин – Охотское море – Камчатка // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 3. С. 46–55.
12. Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Полец А.Ю. О возможности реконструкции реальной динамики земной коры (на примере южных районов Сахалина и Курильских островов) // Докл. РАН. 2009. Т. 427, № 6. С. 1–4.
13. Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Полец А.Ю. Глубинное строение и сеймотектоника южной части Охотоморского региона (по профилю Южный Сахалин – Южные Курилы) // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 46–58.
14. Злобин Т.К., Полец А.Ю., Поплавская Л.Н., Сафонов Д.А. Особенности современной глубинной сеймотектоники литосферы Южных Курил (район о-ва Итуруп) по механизмам очагов землетрясений // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 3. С. 35–40.
15. Курильские острова (природа, геология, землетрясения, вулканы, история, экономика) / Под ред. Т.К. Злобина, М.С. Высокова. Южно-Сахалинск: Сах. кн. изд-во, 2004. 227 с.
16. Косыгин Ю.А. Тектоника. М.: Недра, 1988. 462 с.
17. Петрушевский Б.А. Вопросы геологической истории и тектоники Восточной Азии. М.: Наука, 1964. С. 288–297.
18. Полец А.Ю., Злобин Т.К. Анализ поля тектонических напряжений на разных глубинах в очаговой области Шикотанского землетрясения 4(5) октября 1994 г. (Южные Курилы) // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: Докл. науч. симпози., 1–4 июня 2010 г., г. Хабаровск / Под ред. В.Г. Быкова, А.Н. Диденко. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2010. С. 45–48.
19. Полец А.Ю., Злобин Т.К. Исследования закономерностей тектонических напряжений в Курило-Камчатской зоне // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всерос. совещ., г. Иркутск, 18–21 августа 2009 г. Иркутск: Ин-т земной коры СО РАН, 2009. Т. 2. С. 117–119.
20. Пушчаровский Ю.М. Основные черты строения Тихоокеанского подвижного тектонического пояса // Геотекто-

- ника. 1965. № 6. С. 19–34.
21. Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В. Напряженное состояние земной коры западного фланга Зондской субдукционной зоны перед Суматра-Андаманским землетрясением 26.12.2004 // Докл. РАН. 2006. Т. 47, № 11. С. 1192–1206.
  22. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 406 с.
  23. Ребецкий Ю.Л. Новые данные о природных напряжениях в области подготовки сильного землетрясения. Модель очага землетрясения // Геофиз. журн. 2007. С. 106–111.
  24. Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 240 с.
  25. Сергеев К.Ф. Основные черты строения и вероятный механизм образования Курильской островной системы // Тихоокеан. геология. 1984. № 4. С. 29–40.
  26. Стрельцов М.И., Рождественский В.С. Активные разломы Курило–Охотского региона, Сахалина, Приморья и Приамурья // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ОИФЗ РАН, 1995. С. 387–407. (Вып. 2–3).
  27. Шикотанское землетрясение 1994 г.: Эпицентральные наблюдения и очаг землетрясения. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 136 с.
  28. Удинцев Г.Б. Геоморфология и тектоника дна Тихого океана. М.: Наука, 1972. 394 с.
  29. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сейсмоструктурных деформаций. М.: Наука, 1990. 190 с.
  30. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 612 с.
  31. Angelier J. Tectonic analysis of fault slip data sets // Geophys. Res. 1984. V. N 89. P. 5835–5848.
  32. Hardebeck J.L., Hauksson E. Crustal stress field in southern California and its implications for fault mechanics // J. Geophys. Res. 2001. V. 106, N B10. P. 21859–21882.
  33. NEIC. National Earthquake Informational Center. <http://neic.usgs.gov>
  34. Knopoff L. Energy release in earthquakes // Geophys. J. MNRAS. 1958. N 1. P. 44–52.
  35. Polets A.Yu., Zlobin T.K. Orientation of the principal stresses of the southern part of the Kuril-Kamchatka zone // 8 th International Conference Problems of Geocosmos, St. Petersburg, 20–24 Sept. St. Petersburg State Univ. 2010. P. 177–178.

*Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем*

***A.Yu. Polets, T.K. Zlobin***

### **Estimation of the stress state of the earth's crust and the upper mantle in the area of the Southern Kuril Islands**

The catastrophic Shikotan earthquake 4(5).10.1994 occurred in the Pacific Ocean. Its focus was located 80 km east of the Shikotan Island. For estimation of the Earth's crust stress state, the method of cataclastic analysis of the whole range of earthquake mechanisms was used. The fulfilled reconstruction of the parameters of the Earth's crust stress state and upper mantle allowed the determination of the presence of extensive areas with a stable behavior of the stress tensor parameters typical for this area, and on the other hand, there were revealed some local areas with abnormally rapid changes in these parameters.

**Key words:** The Southern Kuril Islands, Shikotan Island, earthquakes, the Earth's crust, upper mantle, stress state.