

## Работы молодых ученых

УДК 550.34

### ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПО ДАННЫМ МЕХАНИЗМОВ КОРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ О. САХАЛИН

© 2015 А.А. Татаурова

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090;  
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,  
Новосибирск, 630090; e-mail: ant07@nm.ru*

Для реконструкции современных полей напряжений и деформаций о. Сахалин и прилегающих к нему территорий были использованы метод катакластического анализа разрывных смещений и метод по восстановлению сеймотектонических деформаций, на основе данных о механизмах коровых очагов землетрясений с  $M=3-7.1$  произошедших в период с 1979 по 2014 гг. Методом катакластического анализа были восстановлены ориентации девиаторной части главных осей напряжений: растяжения и сжатия, а также значения коэффициента Лоде-Надаи, тип напряженного состояния и выделены однозначные плоскости разрывных нарушений в земной коре. Установлено, что территория острова Сахалин находится преимущественно в условиях горизонтального сжатия, о чем свидетельствует тип напряженного состояния. Совместный анализ современных полей напряжений и деформаций позволил выявить сложное строение и раздробленность земной коры острова.

*Ключевые слова: тектонофизика, механизмы очагов землетрясений, напряжения, деформации, Сахалин.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция напряженно-деформированного состояния земной коры представляет важную часть современных исследований в рамках геодинамики и оценки сейсмической опасности для активных областей.

Для о. Сахалин такие попытки были сделаны сначала на основе геологических данных. Результатом стало заключение о субширотном сжатии острова (Соловьев и др., 1967), что было неоднократно подтверждено и в более поздних работах (Рождественский, 1984, 2008).

С развитием сейсмологической сети А.И. Иващенко с соавторами (2001) и другие исследователи (Поплавская и др. 1997) использовали для решения этой задачи механизмы очагов землетрясений. Основным выводом, сделанный в результате этих работ, заключается в том, что для острова характерно чередование областей горизонтального сжатия и растяжения, при этом

оси напряжений ориентированы субширотно и диагонально относительно субмеридиональных разломных структур, полученные напряжения определялись с использованием только сильных землетрясений с  $M > 5$  (Иващенко и др., 2001). Обычно механизмы таких событий свидетельствуют о региональном поле напряжений.

Необходимо отметить, что земная кора имеет неоднородное строение, что приводит к мозаичности поля напряжений на разных масштабных уровнях (Ребецкий, 2001), а также его изменению в пространстве со временем. Таким образом, поля напряжений, которые можно рассчитать с использованием событий с более низкой магнитудой, остались неучтенными, несмотря на то, что они связаны со структурно-геологическими особенностями острова, как описывается в работе (Коновалов и др., 2014).

Реконструкция полей напряжений и деформаций необходима для определения внутренних особенностей строения земной коры острова,

выделения предположительно наиболее сейсмически опасных районов, обоснованного определения областей возможных очагов землетрясений. Для Сахалина это особенно важно, так как регион характеризуется сейсмической активностью, которая влияет на его инфраструктуру. В настоящей статье задача реконструкции современного поля напряжений по данным инструментальной сейсмичности решается с использованием методов катакластического анализа (МКА), разработанного Ю.Л. Ребецким (1999, 2007), и метода сеймотектонических деформаций (СТД) Ю.В. Ризниченко (1985). Преимуществом МКА перед обычным осреднением совокупности механизмов землетрясений, которое использовалось в работах при определении напряжений для территории острова (Ивашенко и др. 2001; Поплавская и др. 1997) является применение энергетического критерия, который позволяет выделить домены квазиоднородного напряженно-деформированного состояния для определенного масштабного уровня осреднения. Алгоритм нацелен на выделение в исследуемых участках земной коры однородно деформируемых объемов.

#### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОЕНИЯ о. САХАЛИН

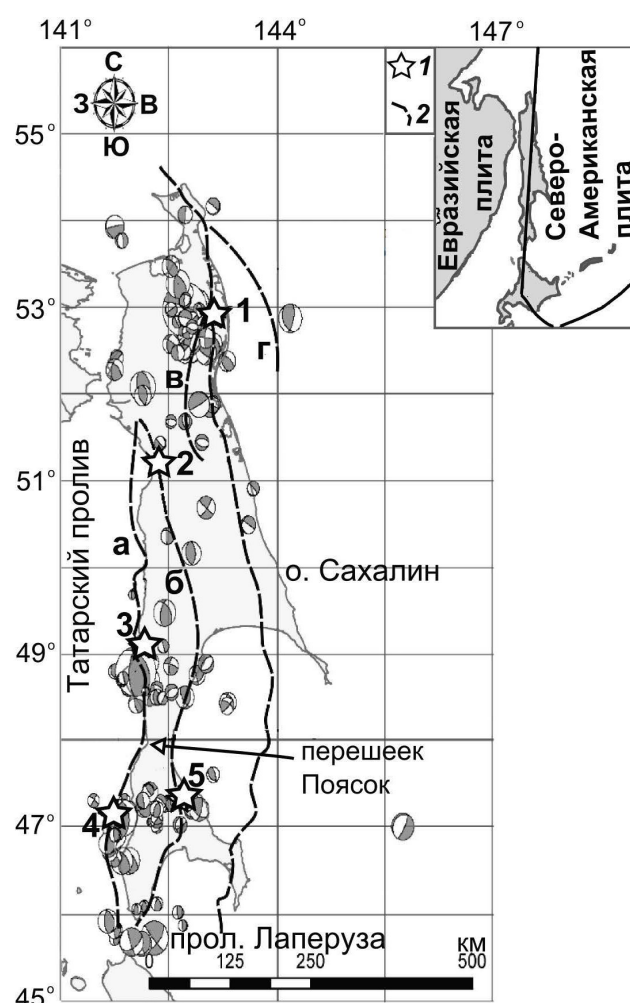
На сегодняшний момент существуют разные взгляды на тектоническое строение о. Сахалин и природу его коровой сейсмичности. Плейттектоническое представление об острове предполагает, что вдоль него проходит зона сочленения двух литосферных плит (Зоненшайн, Савостин, 1979; Charman et al., 1976; Seno et al., 1996). Другие исследователи связывают деформацию острова с развитием окружающих его структур, в частности, рифтогенных впадин (Рождественский, 2008; Fournier et al., 1994).

Важную роль в формировании современного структурного плана острова играют разрывные дислокации (рис. 1). Наиболее протяженным является Центрально-Сахалинский разлом взбросовой кинематики с углом падения плоскостей разломов  $60^{\circ}$ - $80^{\circ}$  градусов на запад (Геология ..., 1970). Взбросовый Западно-Сахалинский разлом почти на всем протяжении находится под водой и остается наименее изученным. Восточно-Сахалинский разлом представляет правый сдвиг (Рождественский, 1984). Несмотря на то, что два из трех разломов имеют преимущественно взбросовую кинематику, они, возможно, образуют правосдвиговую зону (Кожурин, 2013).

Оценка скорости смещений земной поверхности на острове осуществлялась по сети региональных GPS-станций. Значение скоростей смещений относительно Евразийской плиты

варьируют от 5 мм/год до 9 мм/год. Отмечается тенденция увеличения скорости движения с севера на юг. Векторы смещений имеют преимущественно субширотное направление, и движение острова происходит в направлении Евразийской плиты, которая принимается за неподвижную. Исключение составляет западная окраина северной части о. Сахалин, где векторы по данным GPS, меняют субширотное направление на северо-западное (Василенко, Прытков, 2012).

Распределение сейсмичности на острове позволяет нам выделить три его сегмента: северный, центральный и южный. Первые два разделяются на уровне поселка Хоэ по широте, центральный и южный сегмент разделяются перешейком Поясок (рис. 1).



**Рис. 1.** Диаграммы механизмов землетрясений для территории о. Сахалин, использованные при расчете напряженно-деформированного состояния. Схема разломов согласно В.В. Харинову (Харахинов, 2010): 1 – населенные пункты: 1 – г. Нефтегорск; 2 – п. Хое; 3 – г. Углегорск; 4 – г. Невельск; 5 – с. Углезаводск; 2 – разломы: а – Западно-Сахалинский; б – Центрально-Сахалинский; в – Верхне-Пильтунский; г – Восточно-Сахалинский. На врезке показана схема границ литосферных плит.

Современная сейсмичность на территории о. Сахалин свидетельствует о продолжающемся процессе деформирования земной коры. Территория острова характеризуется высоким уровнем сейсмической активности, которая распространена неравномерно (Тихонов, 2006). Проанализировав карту распределения эпицентров землетрясений острова представленную в NEIC (National Earthquake Information Center) расположенного по адресу <http://earthquake.usgs.gov>, мы пришли к выводу, что наиболее сейсмически активными являются западные части центрального и восточного сегментов, в то время как их восточные части малоактивны. Для территории северного сегмента наблюдается обратная картина распределения эпицентров: восточная часть сейсмически более активная, чем западная. Преобладающим механизмом землетрясений для всего острова является взброс.

Рассмотрев разрезы земной коры по профилям глубинного сейсмического зондирования (Глубинное ..., 1971), можно сказать, что земная кора острова колеблется от 25 км до 40 км, в то время как наиболее сейсмически активный слой находится до 20 км (Сафонов, 2008).

#### ДАННЫЕ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ

Исследование напряженно-деформированного состояния территории о. Сахалин выполнялось на площади, ограниченной 45.5°-54.5° с.ш. и 141°-145.5° в.д., так как эта область захватывает не только сам остров, но и прилегающие структуры, которые могут оказать влияние на его напряженно-деформированное состояние (рис. 1). В работе использовались данные о механизмах коровых землетрясений, которые представлены в каталогах: NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) и CMT (Global Centroid Moment Tensor catalog), расположенных по адресам <http://www.hinet.bosai.go.jp> и <http://www.globalcmt.org>, а также сборниках «Землетрясения в СССР» и «Землетрясения Евразии» за период с 1979 по 2014 гг. Всего для расчетов полей напряжений и деформаций было отобрано 162 механизма с  $M=3-7.1$  (рис. 1).

Для реконструкции поля сейсмоструктурных деформаций использовался метод Ю.В. Ризниченко (Ризниченко, 1985). По методике изучаемая область разбивается на элементарные объемы, затем проводится расчет тензора деформаций в каждой ячейке, который равен сумме тензоров сейсмических моментов всех

землетрясений, возникших в единице объема за определенный промежуток времени  $T$ :

$$E_{lm} = (1 / \mu T V) \sum_{n=1}^N M_0^{(n)} Q_{lm}^{(n)},$$

где  $\mu$  – модуль сдвига, принимаемый равным  $3 \times 10^{11}$  дин/см<sup>2</sup>,  $V$  – объем осреднения,  $M_0^{(n)}$  – величина сейсмического момента  $n$ -го землетрясения, определяемая в настоящей работе по известной корреляционной зависимости (Ризниченко, 1985),  $Q_{lm}^{(n)}$  – компоненты единичного тензора сейсмического момента  $n$ -го землетрясения в географической системе координат, выраженные через параметры механизма очага. Компоненты единичного тензора деформаций за счет остаточных явлений в очаге определяются по известным формулам (Ризниченко, 1985).

Для реконструкции современного поля напряжений по механизмам очагов землетрясений использовался программный комплекс МКА (Ребецкий, 1999, 2007). Этот метод позволяет рассчитать тензоры напряжений и приращение сейсмоструктурных деформаций. Сначала проводится формирование однородной выборки механизмов очагов землетрясений, которой соответствует однородно-деформированный участок земной коры. Исходным является предположение о том, что при каждом разрывном смещении на искомом тензоре напряжений происходит уменьшение упругой энергии при выполнении принципа упорядоченности напряжений. Это приводит к требованию формирования приращений деформаций от каждого землетрясения так, что в направлении оси максимального девиаторного растяжения возможны только удлинения, в направлении оси максимального сжатия – только укорочения, а вдоль промежуточного главного напряжения могут быть как удлинения, так и укорочения, но с меньшими амплитудами, чем в направлении двух других главных напряжений.

На основе механизмов, вошедших в однородную выборку, графически определяются области выхода осей минимального и максимального главных напряжений. Затем, программа перебирает, с некоторым шагом, все возможные варианты выхода главных осей и коэффициента Лоде-Надаи (Ребецкий, 2007), определяющего вид эллипсоида напряжений, и выбирает тот вариант, при котором произведение напряжения на деформацию достигает максимального значения.

В результате работы программного комплекса становятся известными ориентации тензоров напряжений, коэффициент Лоде-Надаи и тип напряженного состояния, а также однозначно определяется плоскость разрыва в очаге.

Для реконструкции параметров современного поля напряжения земной коры все механизмы землетрясений были разбиты на три группы, приуроченные к северному, центральному и южному сегментам острова. Для южного сегмента количество землетрясений составляет 56, для центрального – 29 и для северного – 57.

Ввиду малого количества событий однородная выборка содержит от четырех до семи механизмов землетрясений. Хотя в процессе работы данные неоднократно пересчитывались с заданием различных глубин и магнитуд, тем не менее, положение проекций на горизонтальную плоскость осей девиаторного напряжения всегда имело незначительные изменения, что свидетельствует об устойчивости полученного решения.

Шаг по широте и долготе для определения напряженного состояния и деформаций земной коры составил  $0.25^\circ$ , что обусловлено плотностью распределения землетрясений на территории острова.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Результаты МКА для территории о. Сахалин.

В пределах северного сегмента для всех осей максимального девиаторного растяжения характерно СЗ-ЮВ простирание (рис. 2). Вблизи района катастрофического Нефтегорского землетрясения 1995 г. (Коновалов и др. 2014; Рогожин, 1996),  $M=7.1$  наблюдается преимущественно СЗ падение главных осей девиаторного растяжения. В ряде случаев падение осей меняется с СЗ на ЮВ.

В центральном сегменте, отмечается в основном ЮВ направление падения осей максимального девиаторного растяжения. Изменение ориентации главных осей происходит между  $48.5^\circ$ -  $49^\circ$  с. ш. (рис. 2).

Для южного сегмента характерно крутое либо вертикальное падение осей главного девиаторного растяжения, при этом севернее широты  $47^\circ$  они падают на ЮЗ, а южнее этой широты плавно меняют направление падения на ЮВ. Отчетливо это наблюдается в районе между западным побережьем острова и линией Центрально-Сахалинского района.

Почти все оси максимального сжатия (рис. 3) для территории острова имеют либо пологий угол падения до  $10^\circ$ , либо близкий к нему. Направление всех осей близко к субширотному. В районе Нефтегорского землетрясения оси наибольшего сжатия падают преимущественно на восток. На юге этого района наблюдается падение на ЮЗ. Для центрального района острова наблюдается пологое падение осей максимального сжатия с широтным простиранием. Часть из них падают на запад.

Юг острова характеризуется повсеместным пологим сжатием. Исключение наблюдается в проливе Лаперуза, где присутствует чередование субгоризонтальных осей сжатия с осями, погружающимися на запад под углами  $12^\circ$ - $17^\circ$ .

В целом, оси максимального девиаторного растяжения имеют более крутое погружение, чем оси максимального девиаторного сжатия (Татаурова, 2013). Это, по нашему мнению, свидетельствует о том, что землетрясения на Сахалине будут возникать, в основном, с надвиговой и сдвиго-надвиговой подвижкой в очаге и процесс горообразования будет происходить с общим поднятием острова.

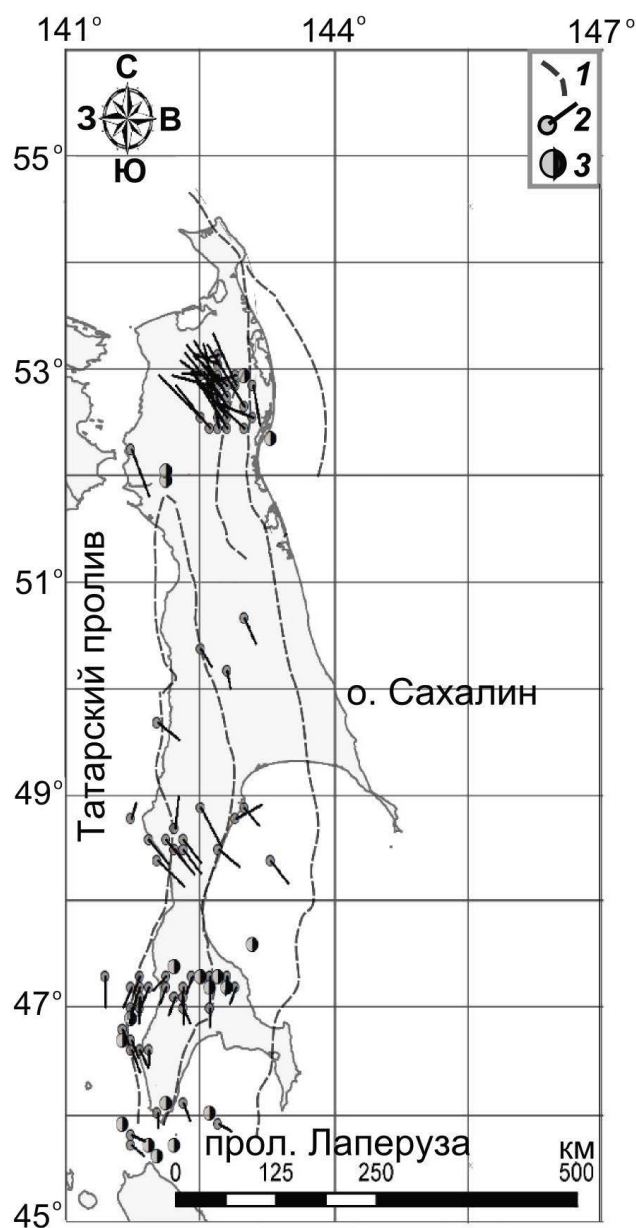


Рис. 2. Проекция на горизонтальную плоскость осей главных напряжений максимального девиаторного растяжения: 1 – разломы; 2 – вектора погружения осей максимального девиаторного растяжения; 3 – вертикальное погружение осей растяжений.



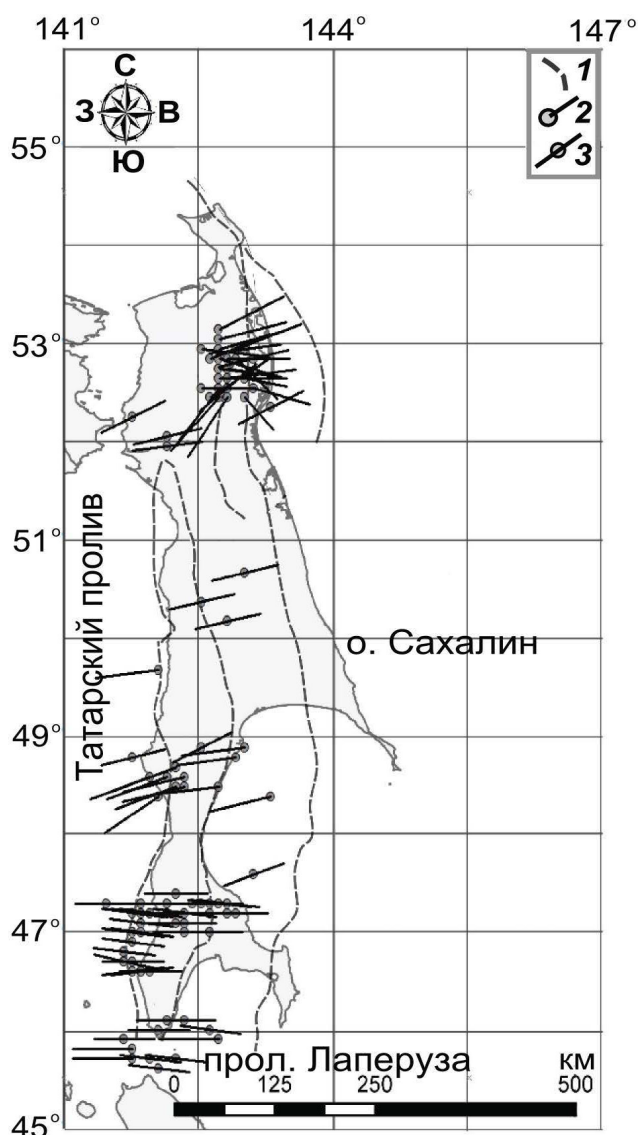
**Вид тензора напряжений и тип напряженного состояния.** Помимо главных осей напряжений были рассчитаны виды тензоров напряжений, характеризующиеся коэффициентом Лодэ-Надаи, при этом +1 соответствует одноосному сжатию, -1 одноосному растяжению, 0 чистому сдвигу. Эти данные позволили проанализировать расположение главных осей напряжений в пространстве.

В целом для острова характерными являются значения, которые характеризуют тензор напряжений как чистый сдвиг с элементами одноосного сжатия (рис. 4), при этом коэффициент в среднем варьируется от -0.2 до 0.6. Исключение составляет Углегорский район, где наблюдается наиболее сильно выраженное одноосное сжатие и его изменение лежит в пределах от 0.6 до 1.

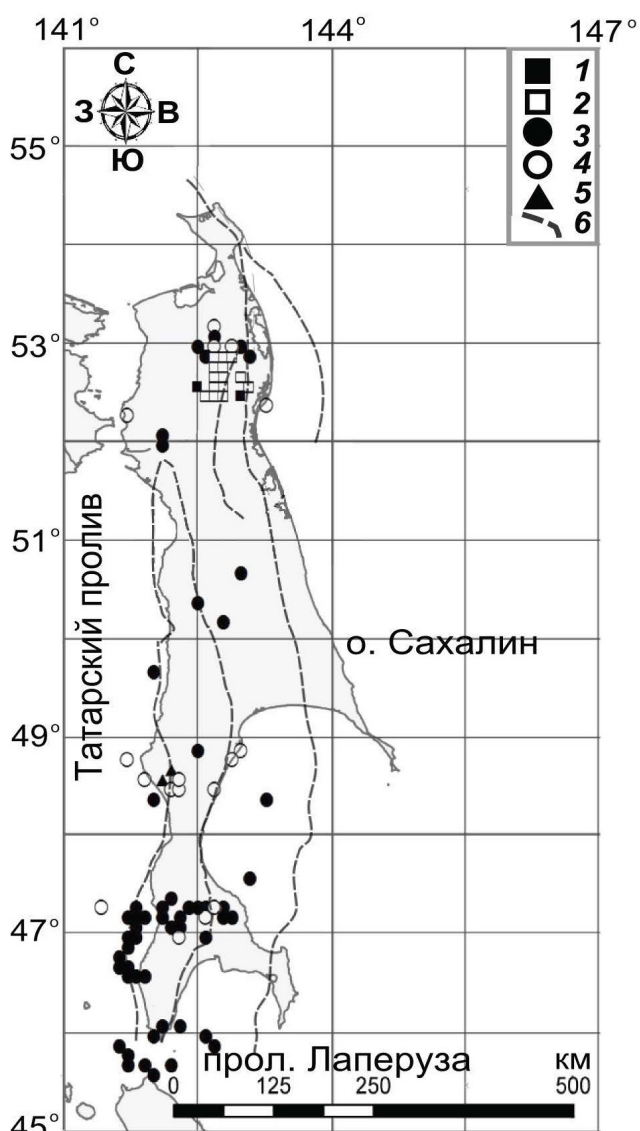
В пределах северного сегмента, в районе г. Нефтегорска, доминирует одноосное растяжение, и коэффициент варьируется от -0.6 до -1.

Если рассматривать геодинамический тип напряженного состояния (рис. 5), который определяется по ориентации главных осей напряжений относительно вектора на зенит, то он отчетливо свидетельствует о процессах горизонтального сжатия во всем регионе. Исключением является район Нефтегорска, где наблюдается чередование горизонтального сдвига, сжатия, растяжения и вертикального поднятия.

**Однозначные плоскости разрывных нарушений.** Метод катакластического анализа позволяет из двух равновероятных нодальных плоскостей выбрать рабочую плоскость, соответствующую плоскости разлома. В МКА эта возможность



**Рис. 3.** Проекция на горизонтальную плоскость осей главных напряжений максимального девиаторного сжатия: 1 – разломы; 2 – вектора погружения осей максимального девиаторного сжатия; 3 – оси сжатия при угле погружения менее 10°.



**Рис. 4.** Вид тензора напряжений – коэффициент Лодэ-Надаи: 1 – от -1 до -0.6; 2 – от -0.6 до -0.2; 3 – от -0.2 до 0.2; 4 – от 0.2 до 0.6; 5 – от 0.6 до 1; 6 – разломы.

связана с созданием однородных выборок механизмов очагов землетрясений, для которых определены параметры эллипсоидов напряжений. Процедура выбора реализованной нодальной плоскости связана с критерием минимального трения вдоль сейсмогенного сдвигового разрыва (Ребецкий, 2005).

При сопоставлении рабочих плоскостей с основными тектоническими структурами острова (рис. 6) было установлено, что для центрального сегмента острова все плоскости имеют близкое к субмеридиональному простиранию положение и согласуются с основными разрывными дислокациями (Татаурова, 2013). Вблизи Центрально-Сахалинского разлома нодальные плоскости имеют западное падение, что согласуются с данными о его

взбросовой природе и о надвигании западной части острова на восточную. Вблизи Западно-Сахалинского разлома можно наблюдать падение плоскостей как на запад, так и на восток (рис. 6).

Для южного и северного сегментов Сахалина отмечается хаотичное распределение простирания нодальных плоскостей, что, вероятно, вызвано присутствием большого количества афтершоков в однородных выборках для этих районов. Разрывные нарушения различных масштабных уровней, таким образом, создают свое поле напряжений. Это подтверждается тем, что в районе Нефтегорского события на фоне процессов сжатия фиксировалось и растяжение внутри афтершоковой области (Коновалов и др., 2014).

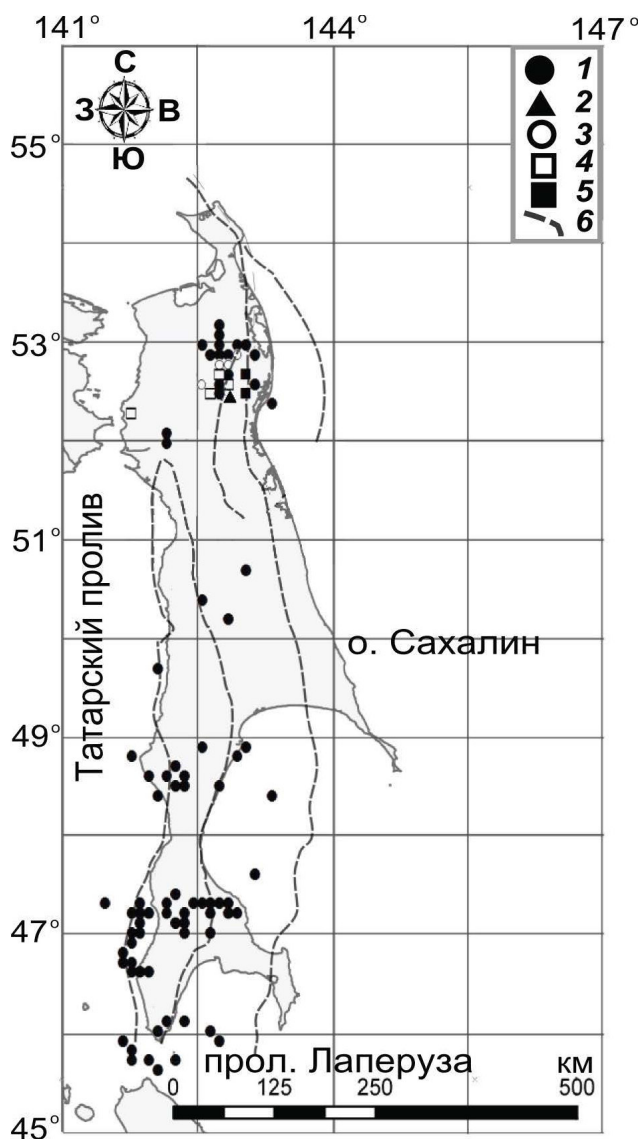


Рис. 5. Геодинамический тип напряженного состояния: 1 – сжатие; 2 – сдвиг; 3 – вертикальный сдвиг; 4 – сжатие-сдвиг; 5 – растяжение; 6 – разломы.

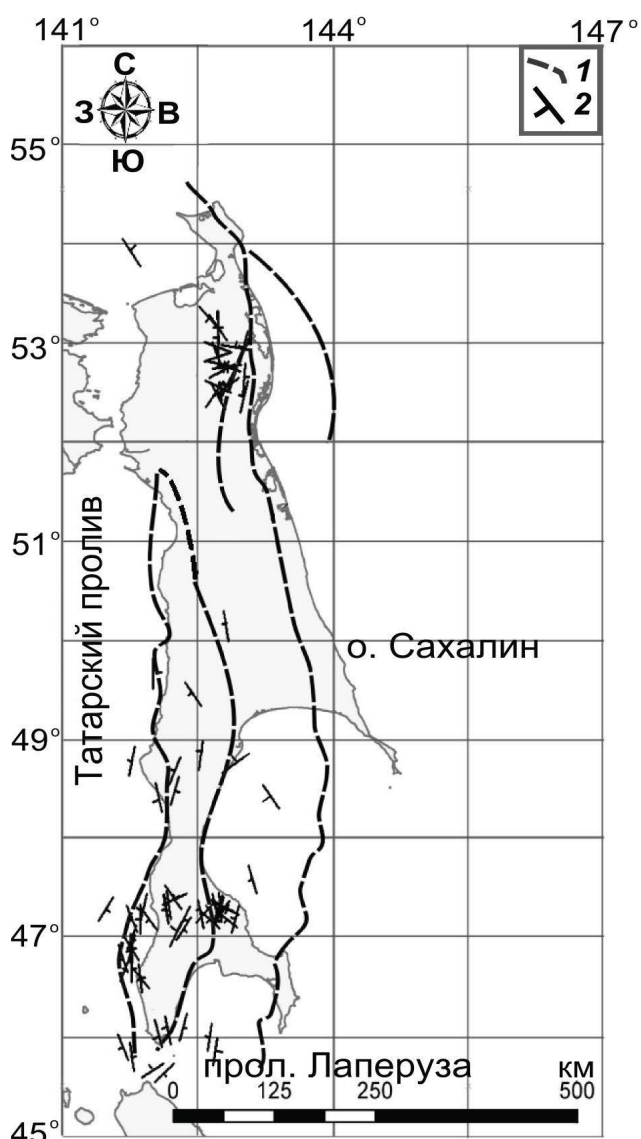


Рис. 6. Плоскости разрывов. 1 – разломы; 2 – простирание однозначных плоскостей разрывов для территории острова, рассчитанные методом каткластического анализа. Длинный штрих – плоскость простирания, короткий – угол падения.

В северной части острова простирания реализованных разрывов довольно хаотично распределены вдоль Верхне-Пильтунского разлома (рис. 1), что объясняется переориентацией осей главных напряжений во время афтершокового процесса Нефтегорского землетрясения (Василенко и др., 2001). Тем не менее, две разрывные плоскости вблизи Хоккайдо-Сахалинского разлома хорошо согласовываются с ним.

Для юга острова отмечается весьма сложная картина. В зоне динамического влияния Западно-Сахалинского разлома располагается большое количество плоскостей разрывов, что может свидетельствовать о наличии оперяющих разломов (Коновалов и др., 2014) и сильной раздробленности территории.

В районе с. Углезаводск, рядом с которым произошел Такойский рой землетрясений в 2001 г. (рис. 1) (Коновалов и др. 2014; Фокина и др. 2007), также наблюдаются вариации в распределении плоскостей разрывов. В работе (Коновалов и др., 2014) было установлено, что события июля и августа, а также главное землетрясение определялись региональным полем напряжения субширотного сжатия, последующая переориентация связана со структурно-геологическими особенностями.

**Деформации Сахалина.** Для восстановления главных осей деформации – удлинения и укорочения – использовался метод Ю.В. Ризниченко (Ризниченко, 1985). При этом землетрясения сортировались по магнитуде, чтобы эффект слабых событий не подавлялся более сильными событиями. После расчетов были взяты только те определения, которые характеризовались минимум двумя механизмами; все определения по одному механизму были отброшены.

Из расчетов сейсмоструктурных деформаций (рис. 7, 8) следует, что для территории Сахалина характерно удлинение в нескольких направлениях, но основная масса реконструированных осей имеет азимут простирания  $140^\circ$ . Углы падения лежат преимущественно в диапазоне от  $30^\circ$ - $50^\circ$ . Картина проекций осей удлинений (рис. 7) имеет сложный характер, что свидетельствует о неоднородном строении острова.

Оси максимального укорочения (рис. 8) также имеют несколько направлений, но ориентации большинства осей располагаются между  $250^\circ$  и  $270^\circ$ . Углы падения осей максимального укорочения близки к горизонтальным. В основной массе картина для этих осей укорочения более однородна, чем для осей максимального удлинения, и имеет преимущественно субширотное направление.

В некоторых случаях, преимущественно для осей максимального удлинения, можно отме-

тить наличие различных деформаций в крыльях одного разлома (Татаурова, 2014). Так, в районе Нефтегорска падения осей максимального удлинения направлены навстречу друг другу относительно Верхне-Пильтунского разлома при СЗ-ЮВ простирании осей. Различные положения осей также наблюдаются и для центрального сегмента в районе Углегорска, в районе Западно-Сахалинского разлома. Оси падают на ЮВ вблизи разлома, при этом соседние (обрамляющие) зоны имеют субмеридиональное простирание с северным падением. На юге острова в пределах Центрально-Сахалинского разлома отмечается сложный переход, который выражен разнонаправленным простиранием осей максимального удлинения: СЗ-ЮВ простирание сменяется на субмеридиональное с разнонаправленными падениями, а затем следует

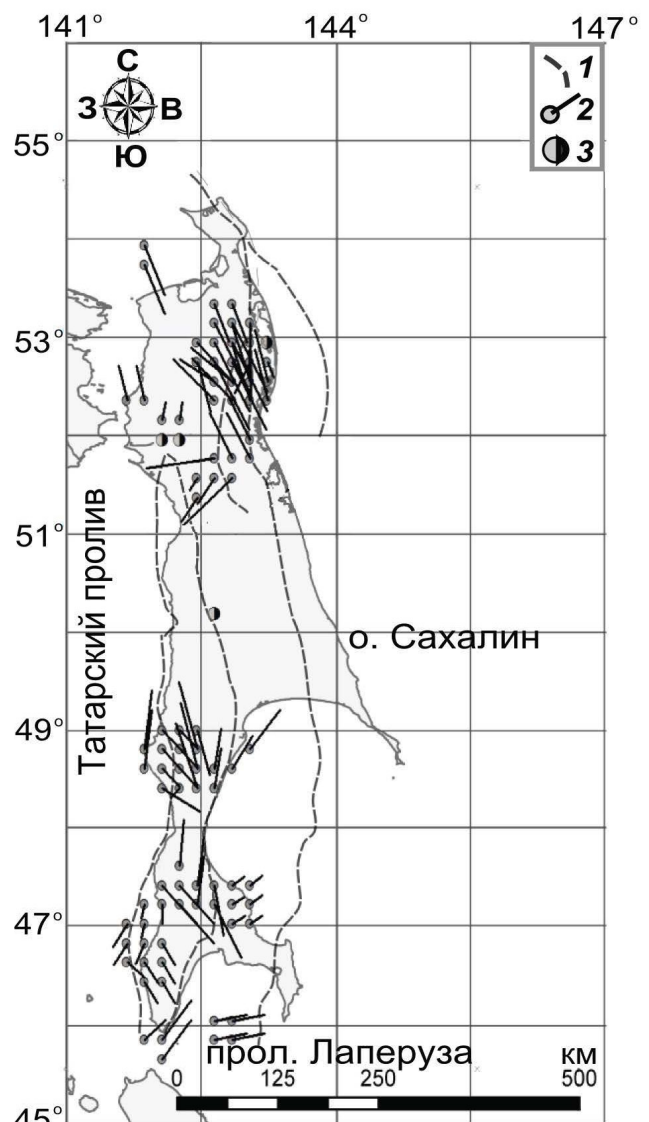


Рис. 7. Проекция на горизонтальную плоскость главных осей деформаций удлинения: 1 – разломы; 2 – вектора погружения осей удлинения; 3 – вертикальное погружение осей удлинения.

субширотное простирание с падением на восток. Так как в одном поле напряжений фиксируется разные деформации, то это свидетельствуют о сложном неоднородном строении приразломной зоны и острова в целом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современного напряженно-деформированного состояния земной коры острова Сахалин позволил выявить особенности распределения главных осей напряжений и приращений сейсмотектонических деформаций. В целом остров подвержен широтному сжатию и, соответственно, укорочению. Оси максимального девиаторного растяжения и удлинения менее согласованы между собой. Можно выделить несколько областей, в пределах которых напря-

женное состояние отличается по ориентации главных осей: внутри северного сегмента выделяется район Нефтегорска, внутри центрального сегмента – Углегорский район (между 48.5° по 49° с. ш.). Южный сегмент можно охарактеризовать как отдельный район, в котором основная часть осей максимального девиаторного растяжения имеет близкое к вертикальному положение. Разнообразное положение осей максимальных удлинений позволяет предположить раздробленность земной коры острова. Это подчеркивается и различием ориентаций осей удлинения в разных крыльях разломов: на юге Центрально-Сахалинского разлома, для Западно-Сахалинского разлома в районе Углегорска и районе Верхне-Пильтунского разлома.

О сложном строении острова свидетельствуют плоскости разрывов, так на севере и юге, вблизи зон основных разломов, выбранные нодальные плоскости ориентированы по-разному, что свидетельствует о раздробленности массива пород. В то же время, для менее сейсмически активной центральной части острова, выбранные рабочие нодальные плоскости хорошо согласуются с простиранием основных разломных структур. В этом случае можно говорить об однородном строении территории.

Почти вся земная кора острова отвечает геодинамическому типу напряженного состояния в виде горизонтального сжатия. Особый тип напряженного состояния характерен для района Нефтегорского землетрясения 1995 г., где проявились, помимо процессов сжатия, растяжение, сжатие-сдвиг и вертикальный сдвиг.

В результате проведенных исследований можно предположить, что основным процессом для о. Сахалин является субширотное сжатие и укорочение, в силу однородности распределения осей напряжений и деформаций. Оси полей растяжения и удлинения являются откликом среды на сжатие и, как результат, обладают более сложной картиной распределения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-15-05-06752 и British Petroleum.

### Список литературы

- Василенко Н.Ф., А.И. Иващенко, Ким Чун Ун. Деформации земной поверхности в эпицентральной зоне Нефтегорского землетрясения 27(28) мая 1995 г. // Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений северо-запада Тихого океана. ИМГиГ ДВО РАН / Отв. ред. А. И. Иващенко. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. Т. 1. С. 39-57.

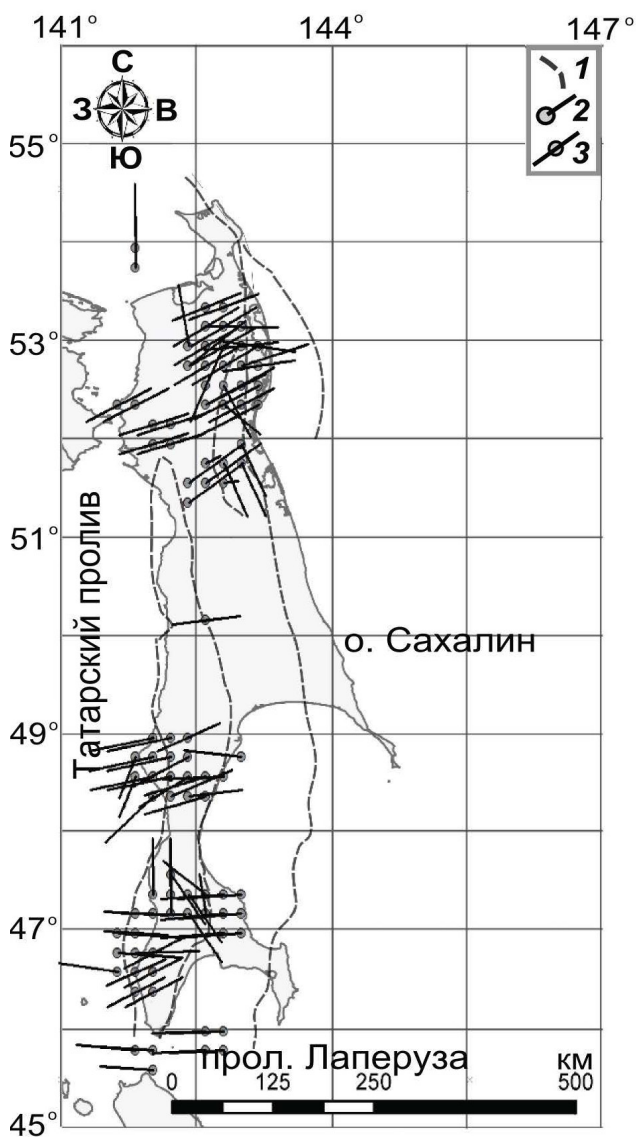


Рис. 8. Проекция на горизонтальную плоскость главных осей деформаций укорочения: 1 – разломы; 2 – вектора погружения осей укорочения; 3 – оси укорочения при угле погружения менее 10°.



- Василенко Н.Ф., Прытков А.С.* Моделирование взаимодействия литосферных плит на о. Сахалин по данным GPS наблюдений // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 1. С. 42-48.
- Геология СССР. Остров Сахалин. Геологическое описание / Под. ред. Верещагина В. Н. М.: Недра, 1970. Т. 33. 432 с.
- Глубинное строение земной коры Сахалино-Хоккайдо-Приморской зоны / Под. ред. С. М. Зверева, Ю. В. Тулиной, М.: Наука, 1971. 286 с.
- Жаров А.Э.* Аккреционные и коллизионные структуры Юго-Восточного Сахалина // ДАН. 2003. Т. 393. № 3. С. 366-370.
- Землетрясения СССР в 1979, 1980, 1982-1984, 1986-1988 / Под. ред. Н.В. Кондорской, М.: Наука, 1982, 1983, 1985-1987, 1989-1991.
- Землетрясения северной Евразии в 1993-1996 / Под. ред. О.Е. Старовойта. М.: ГС РАН, 1999-2002.
- Землетрясения северной Евразии в 1997-2007 / Под. ред. О.Е. Старовойта. Обнинск: ГС РАН, 2003-2014.
- Зоненшайн Л.П., Савостин Л.Л.* Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
- Иващенко А.И., Поплавская Л.Н., Ким Чун Ун, Нагорных Т.В.* Напряженное состояние земной коры острова Сахалин в периоды подготовки, возникновения и развития очаговых зон сильных землетрясений // Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений северо-запада Тихого океана / Отв. ред. А.И. Иващенко. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. Т. 1. С. 5-22.
- Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А.* Современные исследования механизмов очагов землетрясений о. Сахалин. Владивосток: Наука, 2014. 252 с.
- Костров Б.В.* Механика очага тектонических землетрясений. М.: Наука, 1975. 174 с.
- Кожурин А.И.* Активная геодинамика северо-западного сектора тихоокеанского тектонического пояса (по данным изучения активных разломов): Автореф. дисс. док. геол.-мин. наук. Москва, 2013. 46 с.
- Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Фокина Т.А.* Сейсмотектонические условия подготовки и возникновения Нефтегорского землетрясения 27 мая 1995 года // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией / Отв. ред. К.Ф. Сергеев. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. Т. 5. С. 64-82.
- Ребецкий Ю.Л.* Методы реконструкции тектонических напряжений и сейсмотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // ДАН. 1999. Т. 365. № 3. С. 392-395.
- Ребецкий Ю.Л.* Принципы мониторинга напряжений и метод катакластического анализа совокупностей сколов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. 2001. Т. 76. № 4. С. 28-35.
- Ребецкий Ю.Л.* Оценка относительных величин напряжений – второй этап реконструкции по данным о разрывных смещениях // Геофизический журнал. 2005. Т. 27. № 1. С. 39-54.
- Ребецкий Ю.Л.* Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: ИЦК «Академкнига», 2007. 406 с.
- Рогожин Е.А.* Тектоническая позиция очаговой зоны Нефтегорского землетрясения 27 мая 1995 г. на Сахалине // Геотектоника. 1996. № 2. С. 45-53.
- Ризниченко Ю.Б.* Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
- Рождественский В.С.* О влиянии сдвигов на формирование структуры острова Сахалина // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1984. № 9. С. 16-22.
- Рождественский В.С.* Активный рифтинг в Японском и Охотском морях и тектоническая эволюция зоны Центрально-Сахалинского разлома в Кайнозое // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 1. С. 17-28.
- Сафонов Д.А.* Динамика сейсмичности южного Сахалина на основе современных инструментальных и макросейсмических данных: Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. Южно-Сахалинск. 2008. 26 с.
- Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д.* Землетрясения на Сахалине. М.: Наука, 1967. 178 с.
- Татаурова А.А.* Особенности поля напряжений и сейсмотектонических деформаций по данным механизмов очагов землетрясений Сахалина // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Тезисы докладов. М: ИФЗ РАН, 2013. Т. 1. С. 321-328.
- Татаурова А.А.* Связь сейсмотектонических деформаций с геологическими особенностями острова Сахалин // Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири. Тезисы докладов. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. С. 232-234.
- Тихонов И.Н.* Сильные землетрясения в Сахалинской области: исследования и прогнозы // Вестник ДВО РАН. 2006. № 1. С. 67-80.
- Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Кислицына И.П., Михайлов В.И.* Сахалин // Землетрясения северной Евразии в 2001 г. / Под. ред. О.Е. Старовойта. Обнинск: ГС РАН, 2007. С. 182-189.
- Харахинов В.В.* Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 276 с.

*Chapman M.E., Solomon S.C.* North American-Eurasian plate boundary in northeast Asia // JGR. 1976. V. 81. № 6. P. 921-930.

*Fournier M., Jolivet L., Huchon P. et al.* Neogene Strike-Slip Faulting in Sakhalin and the Japan

Sea Opening // JGR. 1994. V. 99. № 2. P. 2701-2725.

*Seno T., Sakurai T., Stein S.* Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate? // JGR. 1996. V. 101. № 5. P. 11305-11315.

## STRESS AND STRAIN FIELDS BASED ON DATA ON CRUSTAL EARTHQUAKE MECHANISMS IN SAKHALIN ISLAND

**A.A. Tataurova**

*Novosibirsk State University, Novosibirsk, 630090;  
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, 630090; e-mail: ant07@nm.ru*

The article presents the results from the reconstruction of modern stress and strain fields in Sakhalin Island and the surrounding regions using the method of cataclastic analysis of paraclases as well as the method of recovery of seismotectonic strain based on data on mechanisms of crustal earthquakes with  $M = 3-7.1$  recorded over the period from 1979 to 2014. The author used the method of cataclastic analysis to restore orientation of the principal stress deviations: tension and compression, the values of the Lode-Nadai coefficient, the type of the stress state and single-valued plane faults. The investigation revealed that the territory of Sakhalin Island is predominantly horizontal compression, as evidenced by the type of stress. Joint analysis of the current stress and strain fields revealed the complex structure and the fragmentation of the crust of the island.

*Keywords: tectonophysics, earthquake focal mechanisms, stress, strain, Sakhalin.*