

НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЮЖНОГО САХАЛИНА

Л.А. Сим¹, Л.М. Богомолов², О.А. Кучай³, А.А. Татаурова⁴

¹ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ул. Б. Грузинская 10, г. Москва, 123995; e-mail: sim@ifz.ru

²ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022; e-mail: bogomolov@imgg.ru

³ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, пр-т Академика Коптюга 3, г. Новосибирск, 630090; e-mail: kuchayo@ipgg.sbras.ru

⁴ФГАОУВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова 2, г. Новосибирск, 630090; e-mail: ant07@nm.ru

Поступила в редакцию 26 марта 2015 г.

На Южном Сахалине проведены тектонофизические исследования для установления смены во времени и пространстве геодинамических обстановок формирования структур района. Анализ данных, полученных во время полевых работ, позволил выделить 11 локальных стресс-состояний (ЛСС) в крупных новейших мегаструктурах, сформированных на разновозрастном геологическом основании. Отмечено существенное различие параметров тектонических напряжений в каждом ЛСС. Особенно резко меняются ориентировки осей сжатия и растяжения в разных крыльях разломов вплоть до их переиндексации. Восстановлены тектонические напряжения двух возрастов при неизменной широтной и субгоризонтальной оси сжатия. Более раннее сдвиговое поле напряжений – постмиоценовое, соскладчатое с субгоризонтальной и меридиональной осью растяжения, и более позднее поле напряжений – взбросового типа орогенное с субвертикальной осью растяжения. Впервые восстановленные по векторам перемещений на зеркалах скольжения стресс-состояния в сочетании с данными о механизмах землетрясений дали возможность обосновать переиндексацию субгоризонтальной оси растяжения с субвертикальной промежуточной осью главных нормальных напряжений на постскладчатом орогенном этапе развития территории. Эти результаты согласуются с данными предшественников о трансформации правосдвиговых перемещений вдоль систем меридиональных разломов во взбросо-надвиговые. Молодое поле напряжения более уверенно восстанавливается в зонах активизации разломов, ограничивающих блоки орогенного этапа, в то время как внутри блоков, сложенных более древними и сложно дислоцированными мезозойскими породами, лучше сохраняются следы соскладчатых деформаций без отражения более молодых орогенных полей напряжений.

Ключевые слова: неотектоника, тектонические напряжения, разломы, борозды скольжения, ось сжатия, ось растяжения, о. Сахалин.

ВВЕДЕНИЕ

Район исследований относится к Хоккайдо-Сахалинской аккреционно-коллизонной области [29], которая испытывает интенсивное сжатие в плиоценово-четвертичное время. Формирование структуры продолжается в настоящее время совместно с развитием структурных элементов дна Японского и Охотского морей, Курило-Камчатской и Тохоку-Хонсю островодужных систем [5]. Территория исследований охватывает Южный Сахалин до 48° с.ш. (рис. 1 а).

Целью исследований являлась характеристика неотектонического напряженного состояния района и

определение возможной смены во времени геодинамических обстановок формирования новейших структур района, а также проверка изменения ориентации тектонических напряжений на западе и востоке района, возможно вызванного влиянием разных тектонических плит.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучение опубликованных материалов по геологическому строению района с акцентированием на работы по неотектонике, разломной тектонике, структурным и тектонофизическим исследованиям;

2. Рекогносцировочные полевые работы по выбору объектов исследования; картирование индикаторов тектонических напряжений полевыми методами;

3. Реконструкция неотектонических напряжений по полевым данным и современных напряжений по данным о механизмах очагов землетрясений;

4. Анализ полученных тектонофизических данных и сопоставление с имеющимися опубликованными материалами.

Основной полевой тектонофизический метод восстановления тектонических напряжений, использованный в работе, опирается на анализ борозд скольжения, в большинстве своем являющихся следами последних смещений. Поэтому особое внимание уделено неотектонике района и разломам – наиболее ярким индикаторам тектонических напряжений.

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕОТЕКТОНИКИ РАЙОНА

К числу наиболее современных исследований неотектоники района – этапа формирования основных черт современного рельефа – нами отнесены работы В.К. Кучая [14] и О.А. Воейковой, С.А. Несмеянова и Л.И. Серебряковой [2]. Авторы этих исследований опирались на специальные геолого-геоморфологические методы изучения рельефа и обширные данные предшественников по изучению поверхностей выравнивания и датировке коррелятных новейших отложений. По мнению В.К. Кучая, «собственно орогенные процессы, приведшие к формированию рельефа в его современном облике, начались в начале антропогена, после завершения сахалинской фазы складчатости» [14]. В крупном обобщении О.А. Воейковой и др. по изучению неотектоники и активных разломов Сахалина выделен неотектонический этап тектонического развития района, начало которого определяется как начало накопления маруямской свиты во второй половине миоцена [2]. В новейшем этапе, ответственном за развитие современного рельефа острова, выделяется раннеорогенная ($N_1^2 - N_2^1$) и позднеорогенная ($N_2^1 - Q_1^4$) стадии развития рельефа. Возраст начала новейшего этапа округленно датируется в 11 млн лет [2]. Позднеорогенная стадия подразделяется на две подстадии, отличающиеся скоростью процессов: раннюю ($N_2^1 - Q_1^1$) и позднюю ($Q_1^2 - Q_2^4$). Ранняя подстадия соответствует высокоинтенсивной региональной сахалинской плиоцен-четвертичной фазе складчатости. Граница подразделений в пределах ранней подстадии позднеорогенной стадии отвечает границе плиоцена и эоплейстоцена, датируемой в 1.8 млн лет» [2, с. 33]. Эта граница соответствует моменту трансформации правосдвиговых перемещений вдоль систем меридиональных разломов во взбросо-надвиговые. Из данного

краткого обзора датировок миоцен-четвертичных тектонических событий Южного Сахалина можно сделать следующие выводы: до начала эоплейстоцена все же разумнее выделять *сахалинскую фазу складчатости* (В.М. Гранник называет ее последней фазой сжатия в плиоцен–плейстоцене [6]), а собственно *орогенную стадию* – время формирования современного рельефа, – вслед за В.К. Кучаем, выделять начиная с эоплейстоцена (1.8 млн лет). Эта граница соответствует моменту трансформации правосдвиговых перемещений вдоль систем меридиональных разломов во взбросо-надвиговые [4, с. 40].

КРАТКИЙ ОЧЕРК ТЕКТОНИКИ РАЙОНА

На Южном Сахалине выделяются три крупнейшие позднеорогенные мегаструктуры: Южно-Камышовое мегаподняtie, Аниво-Сусунайская мегавпадина и Сусунайско-Тонинское мегаподняtie. Пограничной между Южным и Средним Сахалином является Поясковая поперечная седловина [2]. При тектоническом районировании современной орогенной структуры В.К. Кучай перечисленные мегаструктуры именует тектоническими зонами с разделением Аниво-Сусунайской мегавпадины на Тепловодскую и Анивскую, а в Сусунайско-Тонинском мегаподнятии выделяются Сусунайская и Корсаковская зоны (рис. 1 б). Выделение последних зон представляется разумным, так как они сложены отложениями разновозрастных террейнов, выделенных А.Э. Жаровым [9]. Сусунайская зона соответствует, несмотря на некоторое несоответствие характера границы между новейшей и более древней структурами, одноименному метаморфическому мел-раннеэоценовому, а Корсаковская зона – раннеэоценовому Озерскому субдукционным террейнам (пос. Озерское). Ранее В.В. Рождественский выделял эти зоны как единый нерасчлененный метаморфический комплекс [22]; в обобщающей работе В.Е. Хаина эти зоны отнесены к Центральной мегазоне Сахалино-Хоккайдской складчато-покровной системы со сложным покровно-надвиговым строением с западной вергентностью [29].

Границами указанных структур служат крупнейшие субмеридиональные зоны разломов. Самая западная Западно-Сахалинская зона имеет взбросовую кинематику с тенденцией к выполаживанию плоскости сместителя на глубине [27]. Механизмы очагов землетрясений, связываемых с этим разломом, свидетельствуют о взбросовом типе перемещений. Зона Центрально-Сахалинского разлома (Тынь-Поронайская по [22, 30]) служит границей между Южно-Камышовой и Тепловодской зонами; она сложно построена, включает в себя несколько отдельных разломов и на тектонических схемах разных авторов представлена

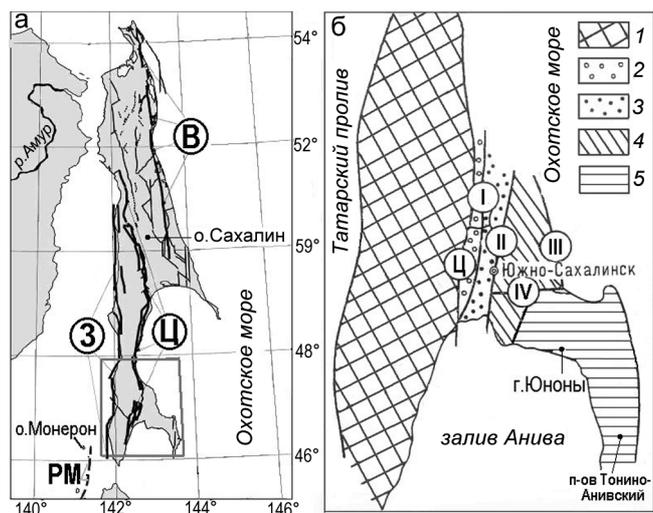


Рис. 1. Расположение на территории о. Сахалин исследуемого района и систем региональных разломов (а), согласно В.С. Рождественскому, М.И. Стрельцову, [22, 27]; (б) – схема тектонического районирования современной орогенной структуры южной части о. Сахалин (внутри рамки на левом кадре, по материалам В.К. Кучая [14] и А.Е. Жарова [9]).

Тектонические зоны: 1 – Южно-Камышовая, 2 – Тепловодская, 3 – Анивская, 4 – Сусунайская, 5 – Корсаковская; системы разломов и разрывных нарушений: В – Восточно-Сахалинская, 3 – Западно-Сахалинская, Ц – Центрально-Сахалинская, РМ – Ребун-Монеронская, I – Ключевская, II – Сусунайская, III – Охотоморская, IV – Хомутовская.

различно. По кинематике отдельные разломы определены как взбросы и надвиги в зависимости от угла падения на запад плоскостей сместителей [1, 2, 6, 9–11 и др.]. Тепловодская структура отделена от Анивской отрицательной структуры Ключевским разломом; эти две структуры объединены в единую Аниво-Сусунайскую мегавпадину [2].

Зона Центрально-Сахалинского разлома состоит из одноименного разлома и разлома Перевальный, а в Ключевскую зону включены Успенский и Апрельский разломы. Все перечисленные разломные структуры в более поздних работах объединены в единую зону Центрально-Сахалинского разлома [10, 15 и др.], по которому кроме взбросовой составляющей определена и правосдвиговая компонента перемещений, ярко выраженная в современном рельефе [11]. В сахалинскую фазу складчатости В.С. Рождественским выделены субмеридиональные правые сдвиги [21, 22]. Сусунайская зона разломов отделяет Анивскую структуру от Сусунайской и Корсаковской зон, которые разделены широтным Хомутовским разломом. Внутри Сусунайско-Тонинского мегаподнятия А.Э. Жаровым выделена Мерейская шовная левосдвиговая зона

(рис. 2, по материалам [4]), которая «маркируется в рельефе линейными грядами, обусловленными тектоническими контактами вулканогенно-кремнистых и терригенных образований» [9, с. 21–22].

Представления об ориентации тектонических напряжений Сахалина отражены в работах [4, 22]. Как отмечено выше, по В.С. Рождественскому, по всему Сахалину правосдвиговые смещения по меридиональным разломам были в палеоцене–миоцене, с позднего миоцена по современное время структуры формируются при широтном сжатии, общем для всего Южного Сахалина [22, с. 94], которое привело к обновлению субмеридиональных разломов с изменением их кинематического типа на взбросовый. Мнение о доминировании ВСВ сжатия (60° – 90°) с плейстоцена до сегодняшнего дня поддерживается В.В. Голозубовым и др., которые провели специальные структурные исследования на Южном и Среднем Сахалине [4]. Основные элементы геологического строения южной части Сахалина (по материалам [4]) показаны на рис. 2.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Реконструкция палеотектонических напряжений производилась кинематическим методом [7, 8]. Главным геологическим индикатором, используемым в этом методе, являются векторы тектонических перемещений, зафиксированные на плоскостях любого генезиса в виде борозд и штрихов скольжения. Последние преимущественно наблюдаются на плоскостях как тектонических, так и литогенетических трещин. В кинематическом методе принимается, что при действии определенным образом ориентированных относительно некоторого массива горных пород внешних тектонических напряжений направления перемещений по плоскостям скольжения совпадают с направлением действия касательного напряжения на этой плоскости. По ориентировкам векторов перемещения решается обратная задача по восстановлению ориентировок параметров тектонических напряжений, обусловивших эти перемещения. В кинематическом методе минимальное число борозд (векторов перемещения по разнонаправленным плоскостям) должно быть не менее 5, возможность локализации осей главных нормальных напряжений зависит от разброса ориентировок реализованных плоскостей. Например, 10 измерений векторов перемещения на плоскостях одной из двух систем сколовых трещин при разбросе ориентировок плоскостей трещин $\pm 20^{\circ}$ и векторов перемещений на них $\pm 5^{\circ}$ позволяют локализовать оси сжатия и растяжения с точностью, не превышающей 50 – 60° . А при наличии всего по 2 измерения на каждой из систем сколовых трещин (все-

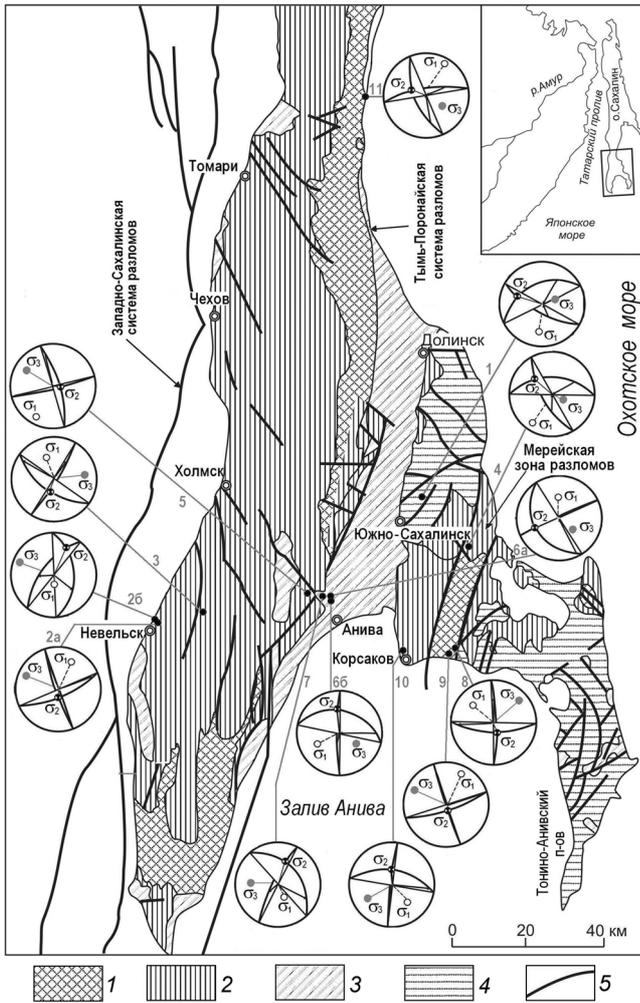


Рис. 2. Схема геологического строения (по материалам В.В. Голозубова и др. [4], упрощено) и направлений осей локальных тектонических напряжений Южного Сахалина.

1–4 – комплексы разновозрастных образований: 1 – альбские и верхнемеловые терригенные, частью туфово-терригенные; 2 – палеоцен-миоценовые терригенные, реже – вулканогенные; 3 – миоцен-четвертичные терригенные; 4 – меловые и палеоцен-эоценовые аккреционные комплексы Сусунайского, Тонино-Анивского террейнов; 5 – разломы. На стереограммах показаны оси главных нормальных (σ_1 – минимальных, σ_2 – промежуточных, σ_3 – максимальных сжимающих) напряжений и плоскости действия максимальных касательных напряжений с векторами перемещения отсутствующего крыла (сетка Вульфа, верхняя полуфера). Описание объемов 1–11, где были определены направления локальных напряжений, приведено в табл. 1, нумерация соответствует первому столбцу.

го 4) возможно определить искомые оси с точностью до 5–10°. Такой вывод следует из анализа распределения ориентировок векторов перемещений на всей совокупности разнонаправленных реализованных плоскостей, рассчитанных О.И. Гущенко [8]. Кроме кинематического метода использовался метод выде-

ления сколовых сопряженных трещин, предложенный М.В. Гзовским [3].

Определение общего поля напряжений проводилось по методике, предложенной Л.А. Сим [23, 24] и обоснованной данными математического моделирования полей напряжений в окрестностях разрыва при смещении по нему [16]. Измененные в связи со смещением по разрыву локальные тектонические напряжения по данным моделирования не выходят за рамки определенных правил, а именно: все оси σ_1 или σ_3 локальных напряжений, являющиеся одноранговыми и вызванные перемещением по разрыву более высокого (крупного) ранга и нанесенные на единую стереограмму, описываются конусами сжатия и растяжения с углом при вершине 90° (рис. 3 а). При этом в конусе сжатия не должно быть осей растяжения и, наоборот, в конусе растяжения не должно быть осей сжатия. Оси конусов взаимно перпендикулярны и являются осями сжатия и растяжения общего поля напряжений (при моделировании – заданного внешнего поля, вызвавшего смещение по разрыву), а точки их касания – полюсами площадок действия максимальных касательных напряжений. Взаимно перпендикулярные локальные оси сжатия и растяжения в разных крыльях разрыва на их концах попадают в область между конусами сжатия и растяжения. Точность определения осей напряжений по методике [23, 24] при данном числе измерений (информативных борозд скольжения) примерно такая же, как в кинематическом методе [8].

В зависимости от масштабов исследования общее поле напряжений, восстановленное изложенным методом, может интерпретироваться как *региональное*, если локальные стресс-состояния восстановлены в разных структурах района – в крыльях и на замке складок, в противоположных крыльях разломов и т.д. или как внешнее по отношению к изученной структуре (например, месторождению рудных полезных ископаемых). При несоответствии распределения ориентировок осей локальных тектонических напряжений вышеперечисленным требованиям необходим дополнительный анализ. Это могут быть разноранговые локальные тектонические напряжения (например, отдельные определения характеризуют возмущение поля напряжений, вызванное смещением по мелкому разрыву в объеме с одним из локальных стресс-состояний, а не в искомом общем поле напряжений, либо восстановлены разновозрастные локальные тектонические напряжения и т.д.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тектонофизические исследования проведены в 15 точках наблюдения на территории Южного Саха-

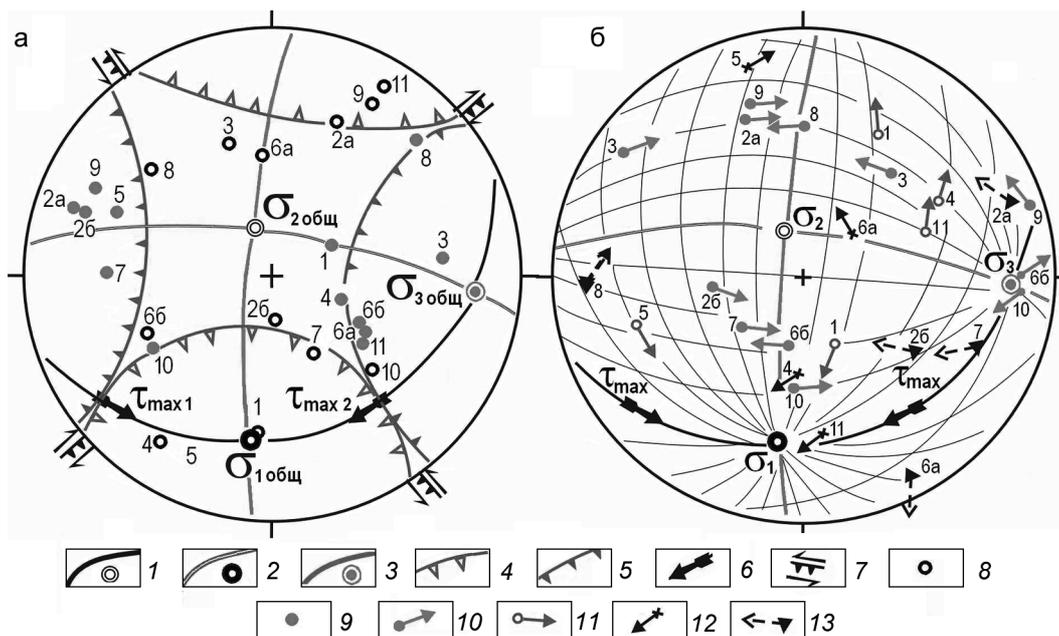


Рис. 3. Стереогаммы неотектонических напряжений Южного Сахалина.

1–3 – оси главных нормальных напряжений общего поля и плоскости их действия: 1 – промежуточных, 2 – минимальных, 3 – максимальных сжимающих напряжений; 4–5 – конусы: 4 – минимальных («растяжения»), 5 – максимальных сжимающих («сжатия») напряжений; 6–7 – плоскости действия максимальных касательных напряжений: 6 – полюс и вектор перемещения, 7 – простираение и кинематический тип перемещения; 8–9 – оси: минимальных («растяжение») и максимальных («сжатие») главных нормальных напряжений локального уровня; 10–12 – полюса плоскостей действия максимальных касательных напряжений локального уровня и вид тензора напряжений: 10 – «сжатия», 11 – «растяжения», 12 – промежуточные ($\sigma_3 \geq \sigma_2 \geq \sigma_1$), 13 – противоречащие общему полю (сетка Вульфа, верхняя полусфера).

лина. При выделении однородноосно-нагруженных объемов горных пород выдерживался принцип объединения точек наблюдения с зафиксированными бороздами скольжения, находящихся в единой структурной позиции. Если две или более точек наблюдения расположены, например, на одном крыле складки, а замеры векторов перемещений не противоречат определению единого стресс-состояния, то эти точки объединялись в единый объем с локальным стресс-состоянием (ЛСС). Например, объединены точки 3 и 4, задокументированные в моноклинально залегающих породах на северной окраине г. Невельск (т. 4) и новообразованной морской террасы (осушенном бенче – т. 3) в южной части города. На рис.4 а показан общий вид этой террасы, западный берег которой рассечен очевидной системой сколовых сопряженных трещин, использованных вытянутыми мини-заливами (мз); такая же система сколов измерена в рассланцованных глинистых сланцах миоценовой верхнедуйской свиты [4, с. 28], среди которых прослой окремнелых мергелей будинирован (рис. 4 в). При аз.пд рассланцованности, изменяющейся от 250° до 280° , с углами падения 70° – 75° обобщенное сжатие, нормальное к

рассланцеванию, ориентировано субгоризонтально и субширотно, а растяжение – субгоризонтально и субмеридионально вдоль растащенных будин мергелей. По сколовым сопряженным трещинам (рис. 4 б), по методике М.В.Гзовского [3], ось сжатия ориентирована по биссектрисе острого угла между сопряженными системами трещин по азимуту 92.5° , а растяжения, соответственно, по биссектрисе тупого угла по аз. 182.5° ; аналогично ориентирована ось растяжения вдоль будин. Также объединены замеры векторов перемещения в точках 1 и 2 в карьере Бурея и в точках 9 и 10 в Петропавловском карьере. Остальные объемы с единым стресс-состоянием представляют собой обнажения, не нарушенные разломами. Особое внимание уделялось наличию разрывов любого масштаба, что связано с неоднократно наблюдавшимися изменениями параметров локальных стресс-состояний в разных крыльях разломов [24, 25]. Всего выделено 11 однородно-нагруженных объемов с локальными стресс-состояниями (ЛСС) (табл., рис. 2). Далее ссылки на положение всех объемов с ЛСС будут опущены – они все показаны на рис. 2, а ориентировки параметров ЛСС – в таблице.

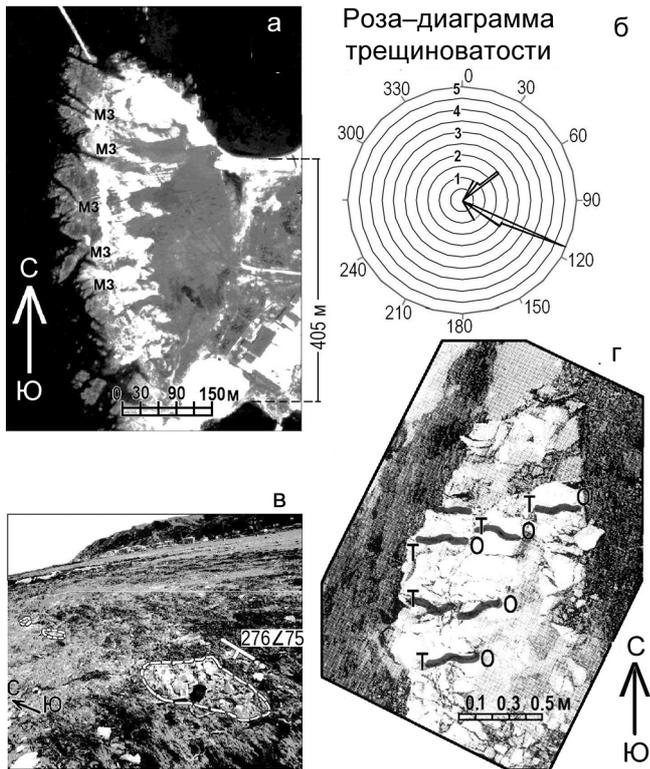


Рис. 4. Индикаторы постраниоценовых напряжений на новообразованной морской террасе (осушенном бенче в южной части г. Невельск). Вверху: а – снимок террасы с указанием масштаба, по материалам Интернет-портала «Яндекс карты, 2014», www.yandex.ru/maps. Темный фон – поверхность моря, видны вытянутые мини-заливы (мз); б – роза-диаграмма трещиноватости на ее поверхности. Ось сжатия по биссектрисе острого угла (методика М.В. Гзовского [3], ориентирована по аз. 92.5°). Внизу: в – расположение трех будин на новообразованной морской террасе, на крупной будине лежит фотоаппарат длиной 25 см; г – трещины отрыва (указаны полосами Т-О) в будине, ось растяжения ориентирована по аз. 182.5° .

На *Южно-Камышовом* мегаподнятии выделено 5 объемов с локальными стресс-состояниями. В двух из них определены по 2 локальных стресс-состояния: в районе г. Невельск (объемы № 2а и 2б) и в центральной части Петропавловского карьера строительного материала (объем № 6а и 6б). При определении относительных возрастных взаимоотношений двух стресс-состояний учитывались единичные плоскости с двумя следами тектонических перемещений, из которых один был моложе другого, так как пересекал лежащие под ним следы более раннего смещения, а также выраженность борозд скольжения – к более молодому относились лучше выраженные следы скольжения с уверенным знаком смещения. Кроме этого,

на новообразованной террасе учитывался взбросовый механизм Невельского землетрясения 2007 г. [12, 26], в согласии с которым находится более молодое стресс-состояние с субвертикальной осью растяжения (аз. погружения оси $356 \angle 67$) и субширотной осью сжатия. Молодое стресс-состояние ответственно, таким образом, за современный этап. Нижний возрастной рубеж более древнего напряженного состояния определяется возрастом пород, обнажившихся в осушенном бенче, как постмиоценовый по возрасту слоев, вскрытых в бенче.

В объеме № 6а и № 6б в западном крыле разлома, вскрытого в Петропавловском карьере, проявлены моноклинально залегающие мелкощебенчатые аргиллиты, прослои гравелитов и алевролиты неогенового возраста с аз. пд. слоев $300 \angle 15 - 335 \angle 10$ (рис. 5). На космическом снимке разлом на этом участке имеет ССВ ориентировку с падением на ЗСЗ. В т. 9 и т. 10 – объем № 6а и № 6б в Петропавловском карьере – выделены 2 разновозрастных стресс-состояния в связи с тем, что в т.н.10 на плоскостях трещины № 1 с аз. пд. $220 \angle 68$ и № 4 с аз. пд. $150 \angle 68$ измерено по 2 генерации борозд скольжения. По бороздам, отнесенным к древней генерации, не удалось установить знак смещения, а по бороздам скольжения 2-й, более молодой генерации, которые на обеих плоскостях секут более ранние вектора перемещений, установлены смещения, противоречащие единому стресс-состоянию по ориентировке оси растяжения. При этом отметим, что найденная ось сжатия находится в остром углу, образованном сопряженными трещинами № 1 и № 4, что не противоречит найденному положению оси сжатия, общей для двух генераций борозд скольжения и 2-х этапов деформирования. Прочие векторы перемещений, измеренные на других плоскостях в выделенном объеме, согласуются с установленной осью сжатия, погружающейся на СЗ по аз. $306-302$ под углами 40 и 43 градуса, различие в их ориентировке находится в пределах ошибки измерения векторов перемещения, т.е. ось сжатия можно считать неизменной на обоих этапах деформирования. Часть векторов перемещения согласуются с осью растяжения, удовлетворяющей оси растяжения древнего этапа, а часть требует ее переиндексации с промежуточной осью.

По одному стресс-состоянию восстановлено в зоне локального субмеридионального разлома (аз. пд. $85 \angle 63$) в неогеновых отложениях в южном борту дороги на г. Невельск на перевале в 500 м на восток от города (объем № 3) и на левом берегу р. Лютога (объем № 5) в моноклинально залегающих неогеновых алевролитах и аргиллитах с прослоем мощных конгломератов мощностью около 4 м (объем № 5). На стереограмме общего поля напряжений (рис. 3) поло-

Таблица. Ориентировка тектонических напряжений Южного Сахалина.

№ объема	Точка набл. Район или привязка	σ_1 , азимут и угол падения	σ_2 , азимут и угол падения	σ_3 , азимут и угол падения	τ_{\max} , азимут, угол пад., тип	τ_{\max} , азимут, угол пад., тип
1	1, 2 – Карьер Буряя верховье р. Буряя	6 \angle 20	106 \angle 25	243 \angle 56	27 \angle 68 СЛ	148 \angle 35 СП
2а	3,4 – г. Невельск, сев. окраина и морская терраса в Южной части города, древнее поле	202 \angle 20	356 \angle 67	110 \angle 9	68 \angle 82 ВЛ	335 \angle 69 ВП
2б	3,4 – г. Невельск, сев. окраина и морская терраса в Южной части города, молодое поле	356 \angle 67	202 \angle 20	108 \angle 10	126 \angle 57 ПВ	266 \angle 38 ЛВ
3	5 – 500 м восточнее пер. Невельский	162 \angle 30	21 \angle 55	264 \angle 18	302 \angle 80 ВП	38 \angle 56 ВЛ
4	7 – Карьер Лиственничный	34 \angle 10	130 \angle 32	288 \angle 54	60 \angle 63 СЛ	180 \angle 44 СП
5	8 – р. Лютога, у моста выше дер. Огоньки	18 \angle 10	271 \angle 68	112 \angle 20	345 \angle 83 СП	252 \angle 70 Л
6а	9,10 – Центр карьера у с. Петропавловское, молодое поле	176 \angle 36	65 \angle 28	306 \angle 40	152 \angle 88 ПС	57 \angle 28 СЛ
6б	9,10 – карьер у с. Петропавловское, древнее поле	65 \angle 30	176 \angle 32	302 \angle 43	92 \angle 82 СЛ	192 \angle 34 СП
7	11 – 500 м от шлагбаума при въезде на Петропавловский карьер	330 \angle 50	196 \angle 30	90 \angle 20	118 \angle 74 ПВ	229 \angle 35 ВЛ
8	12 – г. Юоны, верхний уступ карьера, ЮВ стенка	132 \angle 23	343 \angle 65	227 \angle 10	268 \angle 80 ВЛ	2 \angle 66 Л
9	13 – г. Юоны, нижний уступ карьера, ЮЗ стенка	208 \angle 10	345 \angle 75	118 \angle 10	76 \angle 89 ВЛ	344 \angle 76 П
10	14 – город Корсаков, скальная стенка 150 м. от ул. Вокзальная	314 \angle 30	176 \angle 52	58 \angle 30	94 \angle 84 ВЛ	188 \angle 54 ВЛ
11	15 – Бухта Тихая, справа от устья р. Тихая	210 \angle 5	116 \angle 50	304 \angle 40	172 \angle 65 СП	70 \angle 60 СЛ

Примечание. Азимут и угол погружения осей главных нормальных напряжений: σ_1 – ось растяжения, σ_2 – промежуточная ось, σ_3 – ось сжатия; τ_{\max} – азимут и угол падения плоскости действия максимальных касательных напряжений; кинематический тип: В – взброс, С – сброс, Л – левый сдвиг, П – правый сдвиг. Подчеркнуты буквы с доминирующим типом перемещения (ПВ – правый сдвиго-взброс, взбросовая компонента больше сдвиговой). Курсивом выделены плоскости действия максимальных касательных напряжений, противоречащие общему полю напряжений (объемы 7,8). Общее поле напряжений: $\sigma_1 - 8 \angle 20$, $\sigma_2 - 159 \angle 68$, $\sigma_3 - 274 \angle 9$, $\tau_{\max} 233 \angle 82$, ВЛ, $\tau_{\max} 138 \angle 70$, ВП.

гие субширотные ориентировки оси сжатия в объемах №№ 2а, 2б, 3, 5, 7 характерны для Южно-Камышовой структуры. Самые крутые оси растяжения в исследованном районе восстановлены в анализируемой структуре: 50°–67° (объемы №№ 2б, 7). Пологие оси сжатия характерны также для слабдеформированных, моноклинально залегающих слоев в районе дер. Огоньки (объем № 5) и для пород вблизи перевала Невельский (объем № 3).

Несмотря на малое число однородно-осных объемов можно предположить, что на ранней орогенной стадии структура испытывала сдвиговые тектонические напряжения при субширотном пологом сжатии, а в позднеорогенную стадию при сохранившейся ориентировке оси сжатия ось растяжения приобрела субвертикальное положение, что должно было приве-

сти к резкому преобладанию взбросовой компоненты перемещений, особенно по субмеридиональным разломам. Это предположение подтверждается выводами В.С. Рождественского [21], данными В.К. Кучая, откартировавшего Апрельский надвиг, по которому неогеновые толщи надвинуты на четвертичные отложения [14], а также выводами о пологой оси сжатия на западе Южного Сахалина В.В. Голозубова и др. [4].

На новообразованной морской террасе в южной части г. Невельск (поднятии, возникшем при Невельском землетрясении 2.08.2007), в нижнемиоценовых рассланцованных глинистых сланцах с прослоями окремненных мергелей выражены две системы сколовых сопряженных трещин, которые отчетливо видны на западном берегу этой террасы (рис. 4 а); по розе-диаграмме трещиноватости (рис. 4 б) по методике

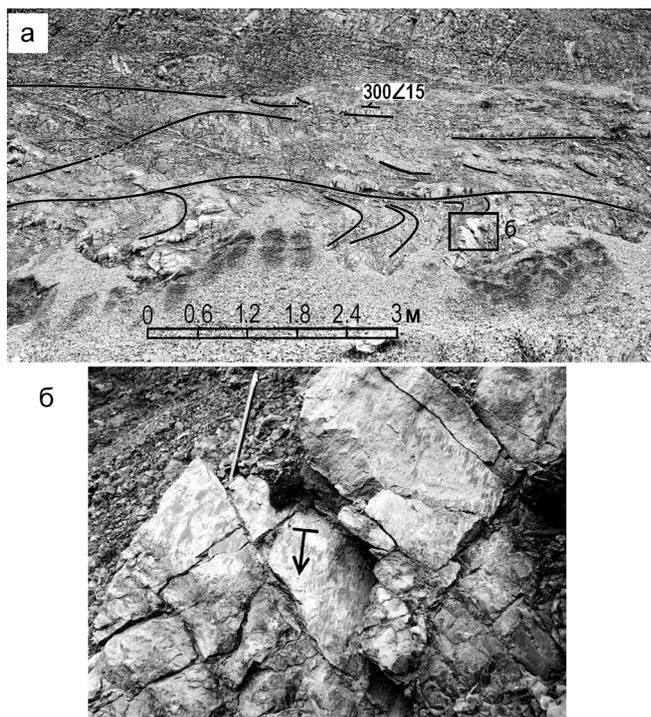


Рис. 5. Общий вид деформированных пород в западном крыле разлома, вскрытого в Петропавловском карьере (а); б – плоскость с бороздами скольжения (врезка на рис. 4 а).

В кадре а) при обобщенном падении слоев по аз. $300 \angle 15$ видны деформации в отдельных горизонтах, вызванные предположительно межслоевым проскальзыванием. В кадре б) – сбросовое смещение по бороздам скольжения, аз.пд. плоскости трещины $170 \angle 55$, карандаш длиной 20 см ориентирован параллельно вектору перемещения. Видно, что борозды скольжения не связаны с деформациями пород, зафиксированными на рис. 5 а.

М.В. Гзовского [3] восстановлено постмиоценовое сдвиговое поле напряжений с субгоризонтальными осями сжатия и растяжения. Будины в слое окремненных мергелей (рис. 4 в), а также трещины отрыва в будинах (рис. 4 г) дают возможность определить меридиональную и горизонтальную ось растяжения, совпадающую с осью растяжения, восстановленной по сколовым трещинам. Таким образом, в объеме № 2а восстановлено постмиоценовое локальное сдвиговое стресс-состояние с осью сжатия, ориентированной субширотно и нормально к поверхностям расщепления, и меридиональной осью растяжения. В этом же объеме восстановлено более позднее поле напряжений, в котором при сохранившейся оси сжатия промежуточная ось поменялась местами с осью растяжения (т.е. произошла переиндексация осей), и позднее поле напряжений стало взбросовым. Оно соответствует механизму очага Невельского землетрясения 2.08. 2007 г.

Сусунайско-Тонинское мегаподняtie охарактеризовано пятью определениями локальных стресс-состояний. Одно из них выделено в пределах мел-раннеэоценового Сусунайского метаморфического субдукционного террейна (табл., рис. 2), одно – в Мерейской шовной зоне и три объема – в пределах раннеэоценового Озерского террейна; классификация террейнов дана по А.Э. Жарову [9]. В Буреинском (р. Буря, объем № 1) и Лиственничном (пос. Лиственничное, объем № 4) карьерах восстановлены сдвиго-сбросовые локальные стресс-состояния с пологими осями растяжения и крутыми осями сжатия. Особенностью проявления напряженного состояния в серых меловых сланцах с аз. пд. плоскостей расщепления $50-75 \angle 40-55$ в Буреинском карьере является наличие ярко выраженных мелких структурных форм в виде отчетливых сколовых трещин, довольно многочисленных кварцевых жил, мелких складок, свидетельствующих о многоэтапности формирования общей структуры, вскрытой в карьере. Так, кварцевые жилы выполняют как трещины скола, ориентированные поперек сланцеватости, так и полости, приоткрытые среди пачек сланцев, параллельные расщеплению. Сколовые трещины в отдельных случаях секут жилы, смещая их, а иногда жилы по сланцеватости смещают сколы, т.е. после метаморфизма обстановка растяжения была неоднократно. Японские и сахалинские исследователи установили три этапа деформаций в Сусунайском террейне в процессе субдукции, подвигания его на глубине более 6–10 км и вскрытия на дневной поверхности [5, стр. 61]. Тем не менее, следы последних перемещений в виде борозд скольжения как по трещинам, так и по плоскостям сланцеватости отчетливо локализируют крутую ось сжатия с погружением на ЗЮЗ по аз. $243 \angle 56$ и пологую меридиональную ось растяжения (объем № 1).

В карьере Лиственничном вскрыт разлом СВ простирания с аз. пд. $140 \angle 80$. В западной стенке карьера вскрыты измененные вулканогенные породы основного состава с характерной для базальтов шестоватой отдельностью (рис. 6), контактирующие по разлому с терригенными вмещающими толщами. Плоскости отдельностей в магматических породах с аз.пд. на ЮВ-Ю $140^{\circ}-180^{\circ}$, с преимущественными углами падения $50^{\circ}-60^{\circ}$ испещрены мощными бороздами скольжения, по которым четко определяется правый сдвиг с незначительной сбросовой компонентой. При определении локального стресс-состояния в этом объеме восстановлены две плоскости действия максимальных касательных напряжений, одна из которых широтная с параметрами $180 \angle 44$ (объем № 4) отчетливо выделяется на стереограмме локального

стресс-состояния максимумом плоскостей с зеркалами скольжения.

Анализ фактического материала, полученного в Лиственичном карьере, показывает, что столь ярко выраженный разлом в породах, вскрытых в карьере, не входит в число основных разломов Мерейской шовной зоны в целом ССВ простирания, а также то, что восстановленное стресс-состояние в висячем крыле разлома СВ простирания может иметь локальный характер приразломного напряженного состояния.

Три определения локальных стресс-состояний в раннеэоценовом Озерском террейне приурочены к разным уступам карьера Пригородный (пос. Пригородное, южный склон г. Юноны) и к северной окраине г. Корсаков (объемы №№ 12–14). Общим для всех объемов является сдвиговый тип напряженного состояния с пологими разнонаправленными осями сжатия и растяжения.

В районе карьера Пригородного на ЮВ склоне г. Юноны чередуются разбрекчированные туфопес-

чаники, алевропесчаники и кремнистые горизонты. В северной стенке карьера в верхнем уступе (точка 12) обнажены бежевые туфопесчаники с подчиненными по мощности алевролитами, значительно измененные в зоне разлома СВ простирания, аз. пд. $320-330 \angle 75-80$. В висячем крыле разлома в верхнем уступе и в лежащем крыле, хорошо вскрытом в нижнем уступе, восстановлены локальные стресс-состояния, оси главных нормальных напряжений которых практически меняются местами: ось сжатия в висячем крыле (объем № 8) ориентирована полого на ЮЗ-СВ и близка к оси растяжения в лежащем крыле (объем № 9), а пологая ось сжатия в лежащем крыле ЮВ-СЗ простирания близка к оси растяжения в висячем крыле – такая переиндексация осей главных нормальных напряжений – очевидное доказательство активности разлома [24, 25], которое соответствует перераспределению локальных осей главных нормальных напряжений в окрестностях разломов, вызванных смещением по нему, полученных по данным



Рис. 6. Зона разлома в карьере Лиственичный. В лежащем крыле разлома (аз. пд. плоскости $140 \angle 80$, правый сбросо-сдвиг, угол наклона борозд скольжения к горизонту 16°) видны столбчатые отдельности в нижнемеловых эффузивах основного состава (верхняя левая часть снимка), некоторые из них отдешифрованы (правая верхняя часть снимка).

моделирования разломов [16]. Оси сжатия и растяжения в полого падающих на ЗЮЗ под углом 30° слоях алевролитов на северной окраине г. Корсаков (объем № 10) – определено локальное стресс-состояние с ориентировками осей главных нормальных напряжений, похожих на их ориентации в висячем крыле разлома в карьере Пригородный: ось сжатия пологая СВ простирания, ось растяжения также пологая СЗ простирания.

В самой северной точке наблюдения в бухте Тихой в массивных миоценовых валунниках, конглобрекциях, конгломератах с аз.пд. $200 \angle 52$ вскрыта сложно построенная зона Восточно-Сахалинского субмеридионального разлома с несколькими сместителями с аз. пд.: $80-90 \angle 85$; $280 \angle 75$ и поперечный к ним разлом $160-170 \angle 87$. В зоне последнего измерены 18 ориентировок векторов перемещений в виде борозд скольжения, по которым восстановлено сбросо-сдвиговое локальное стресс-состояние с погружением оси сжатия на СЗ $304 \angle 40$ и оси растяжения, погружающейся на ЮЗ по аз. $210 \angle 5$ (объем № 11). Многочисленные субмеридиональные кварцевые жилы в этой точке наблюдения имеют усредненную ориентировку с аз. пд. $80-90 \angle 70-80$, которые параллельны берегу моря; они согласуются с прогибанием Охотоморской плиты и противоречат найденной по бороздам скольжения оси растяжения, что говорит о молодом поле напряжений, вызвавших формирование борозд скольжения.

По всем 13 определениям осей локальных стресс-состояний в 11 однородно-осно нагруженных объемах, в двух из которых реконструировано по 2 локальных стресс-состояния, восстановлено общее поле напряжений сдвигового типа для всей исследованной части района (рис. 2) со следующими параметрами: $\sigma_1 - 8 \angle 20$, $\sigma_2 - 159 \angle 68$, $\sigma_3 - 274 \angle 9^\circ$, $\tau_{\max} 233 \angle 82$, левый взбросо-сдвиг, $\tau_{\max} 138 \angle 70$, правый взбросо-сдвиг с преобладанием сдвиговой компоненты перемещений по обеим плоскостям (рис. 3 а).

Необходимо отметить, что локальные оси главных нормальных напряжений, восстановленные в разных крыльях разлома в карьере Пригородном, свидетельствуют о субширотном сжатии. Только при таком сжатии СЗ крыло разлома должно смещаться на СВ и обуславливать локальное сжатие, параллельное плоскости разлома во фронтальной части перемещающегося крыла; в таком случае в тылу ЮВ крыла разлома ось растяжения становится параллельной плоскости разлома в связи с перемещением этого крыла на ЮЗ. Это подтверждает субширотное и пологое сжатие в восточной части исследованного района, которое было определено при нахождении общего поля напряжений.

В целом в большинстве объемов локальные стресс-состояния восстановлены по небольшому количеству плоскостей с зеркалами скольжения, не дающих возможности корректной оценки тензора вида напряженного состояния, характеризуемого коэффициентом Лоде-Надаи μ_σ . В связи с этим произведена оценка этого параметра сразу по всему району; для этого на единую стереограмму вынесены все плоскости действия максимальных касательных напряжений во всех объемах (26 определений) и восстановленные оси главных нормальных напряжений общего поля напряжений (рис. 3 б). Для качественного определения коэффициента μ_σ графическим способом проводятся дуги больших кругов, проходящих через ось сжатия и ось растяжения. По кинематическому методу [8], вектор перемещения на любой плоскости должен совпадать с дугами больших кругов, расходящихся от оси σ_1 в случае одноосного растяжения ($\sigma_3 = \sigma_2 \neq \sigma_1$), от оси σ_3 в случае одноосного сжатия ($\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$) или должно находиться в створе острого угла, образованного дугами больших кругов, расходящихся от осей σ_1 и σ_3 ($\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$). Если вектор перемещения попадает в створ тупого угла между разного типа дугами, то такое перемещение противоречит найденному общему полю, т.е. по плоскости с такой ориентировкой не может произойти перемещение в данном поле напряжений. Анализ стереограммы показывает, что 12 векторов перемещения совпадают с дугами больших кругов, расходящихся от оси сжатия, 5 – с дугами больших кругов, расходящихся от оси растяжения, 4 находятся в створе острого угла между указанными дугами и 5 противоречат найденному общему полю напряжений. Такая статистика позволяет говорить, что деформирование Южного Сахалина происходило при доминирующей обстановке сжатия. Обе плоскости действия τ_{\max} в обстановке сжатия определены в объемах №№ 5, 6б, 9, 10, а обе плоскости действия τ_{\max} в обстановке растяжения характерны только для пород, вскрытых в Буреинском карьере. Такая локальная обстановка в этих метаморфических породах подтверждается многочисленными разновозрастными кварцевыми жилами в Буреинском карьере.

Пять плоскостей действия максимальных касательных напряжений в локальных объемах, противоречащие общему сдвиговому полю напряжений, идеально подходят к ситуации, когда ось растяжения σ_1 в современном поле напряжений переиндексировалась бы с промежуточной осью σ_2 и общее поле напряжений стало бы взбросовым при сохранившейся ориентировке оси сжатия, как это было зафиксировано в Невельском осушенном бенче. Все 12 плоскостей, совпадающих с плоскостями, расходящимися от оси σ_3 , остаются согласованными с новым, молодым по-

лем напряжений, а 5 плоскостей, совпадавшие с дугами больших кругов, расходящихся от оси растяжения, стали бы противоречить новому взбросовому полю. Таким образом, восстановлено раннее сдвиговое поле напряжений с субгоризонтально и широтно ориентированной осью сжатия и субгоризонтальной меридиональной осью растяжения и менее уверенно восстанавливается более позднее взбросовое поле напряжений с сохранившейся осью сжатия и субвертикальной осью растяжения. Более раннее поле напряжений, скорее всего, относится к фазе сахалинской складчатости, а позднее, ответственное и за современный этап, описывает орогенную фазу.

СОВРЕМЕННОЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ О. САХАЛИН

Распределение ориентаций современных региональных сейсмоструктурных деформаций и напряжений земной коры исследованы по данным параметров механизмов очагов коровых землетрясений, произошедших на юге острова Сахалин. Механизмы землетрясений были взяты из сборников «Землетрясения в СССР», «Землетрясения Евразии» и выбраны из международного каталога NEIC (National Earthquake Information Center) за период с 1982 по 2007 гг. Общее количество событий, используемых при построении карты сейсмоструктурных деформаций и напряжений, составило 40 с $M = 4.3-6.3$.

Ориентации главных осей деформаций определялись методом Ю.Б. Ризниченко и Б.В. Кострова на основе сейсмологических данных [13, 20]. Суть метода заключается в нахождении среднего тензора механизма очага для набора сейсмических событий с гипоцентрами в элементарном объеме, площадь которого для территории острова составила $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Расчет приращений тензоров сейсмоструктурных деформаций в каждой ячейке осреднения проводился по данным механизмов очагов землетрясений, результаты представлены в работе [28]. Согласно расчетам, для западной части южного окончания острова, в районе г. Невельска и пос. Горнозаводска характерны крутые углы падения главных осей удлинения с мозаичным азимутальным направлением векторов деформаций. В восточной части угол падения более пологий и имеет юго-западное направление. Направление главных осей укорочения практически повсюду субширотное с углом падения менее либо близкое к 15° , что согласуется с результатами геологических исследований [26], а также с результатами недавнего обобщения [12].

Реконструкция тензоров напряжений осуществлялась методом катакластического анализа (МКА),

разработанном Ребецким Ю.Л. [17–19]. Особенность данного подхода заключается в том, что в нем формируются выборки землетрясений, произошедших в однородно-деформирующихся объемах, и для этих объемов проводится реконструкция относительных или абсолютных значений компонент тензора напряжений. Первый этап реконструкции использует те же данные о параметрах фокальных механизмов, что и методика расчета сейсмоструктурных деформаций [13, 20, 31]. Так как применение МКА описано в большом количестве публикаций (монография [18] и др.), можно сразу перейти к результатам расчетов. При восстановлении поля напряжений по параметрам очагов землетрясений проявляется субширотная и близгоризонтальная ориентация максимального девиаторного сжатия и близвертикальное (углы с вертикалью 80° градусов) положение осей максимального девиаторного растяжения с малыми углами падения к юго-западу [28]. В недавних работах [12, 28 и др.] при анализе ориентации осей напряжений и деформаций по данным о механизмах очагов землетрясений было подтверждено, что земная кора южной части о. Сахалин находится под действием субширотного близгоризонтального регионального фонового сжатия и преимущественного близвертикального растяжения. В этом поле напряжений направление главных осей укорочения относительно устойчиво, удлинение меняет направление от близвертикального в западной части до близгоризонтального на остальной части Южного Сахалина.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных тектонофизических исследований для установления смены во времени геодинамических обстановок формирования структур Южного Сахалина предпринята попытка ответить на следующие вопросы: различаются ли параметры восстановленных тектонических напряжений по площади в зависимости от предыстории формирования новейших структур, от наличия разломов и каково отличие геодинамических обстановок складчатого и орогенного этапов развития, требующее обоснования разновозрастности восстановленных параметров тектонических напряжений и их последовательности во времени.

На основании анализа данных, полученных во время полевых работ, выделено 11 локальных стресс-состояний (ЛСС) в крупных новейших мегаструктурах, сформированных на разновозрастном геологическом основании. Параметры тектонических напряжений существенно различаются в каждом ЛСС, при этом не обнаружено резких различий в ориентировках осей сжатия в Южно-Камышовом и Сусу-

найско-Тонинском мегаподнятиях. Общим является доминирование субмеридиональных простираний осей растяжения и субширотного сжатия, но при этом максимальные отклонения осей сжатия до ЮВ-СЗ (аз. 302° – 306°) восстановлены на Южно-Камышовом мегаподнятии в Петропавловском карьере и в бухте Тихой, а отклонения этих осей на ЮЗ-СВ (аз. 227° , 58°) восстановлены в карьере Пригородном и в породах на окраине г. Корсаков. Крутые углы падения осей сжатия, приводящие к смешанным сбросо-сдвиговым типам напряженного состояния, также определены в обеих структурах. Так, восстановленные в Петропавловском карьере два стресс-состояния характеризуются промежуточным сдвиго-сбросовым типом напряженного состояния – все три оси главных нормальных напряжений ориентированы под углом 28° – 43° к горизонту. При этом ориентировка оси сжатия устойчива и погружается на СЗ по аз. 302° – 306° под углом 43° – 46° , что предопределяет сбросовую компоненту перемещений по плоскостям действия максимальных касательных напряжений. В разноэтапных тектонических напряжениях объема №6 в Петропавловском карьере происходит переиндексация промежуточной оси σ_2 с осью растяжения σ_1 – в более древнем стресс-состоянии ось растяжения погружается на юг под углом 36° , а в более молодом – на ВСВ под углом 30° .

Можно отметить лишь, что в более древних отложениях Сусунайско-Тонинской новейшей структуры в Буреинском и Лиственничном карьерах реконструированы наиболее крутые углы погружения осей сжатия – 56° и 54° , соответственно. Отмечено, что в зонах разломов разного простирания в разных крыльях разломов резко меняются ориентировки локальных осей сжатия и растяжения, что особенно отчетливо проявлено в окрестностях разлома, вскрытого в карьере на горе Юноны, где происходит практическая переиндексация осей сжатия и растяжения.

В вопросе о возрасте восстановленных тектонических напряжений ключевым моментом являются данные по новообразованной морской террасе в южной части г. Невельск, которые позволили разделить постмиоценовые ЛСС от современных. Здесь произошла явная смена постмиоценового поля напряжений сдвигового типа на современное – взбросового типа без смены ориентировки оси сжатия. Постмиоценовое древнее поле напряжений восстановлено как по сколовым трещинам, так и по ориентировке мини-залитов, вытянутых по трещиноватости.

На устойчивость ориентировки оси сжатия во времени указывают и локальные разновозрастные оси сжатия, восстановленные в Петропавловском карьере.

Определение общего поля напряжений по всем восстановленным ЛСС показало в рамках имею-

щихся материалов достаточно уверенное сдвиговое поле напряжений, свойственное всей исследованной части Южного Сахалина. Оно характеризуется субширотным сжатием и субмеридиональным растяжением без разделения этого общего поля напряжений на разновозрастные и разноориентированные западную и восточную части острова. Специальный анализ плоскостей действия максимальных касательных напряжений всех восстановленных ЛСС показал, что в этом общем сдвиговом поле напряжений большинство этих плоскостей соответствует одноосному сжатию. При этом «реализация» этих плоскостей в Буреинском карьере в обстановке растяжения свидетельствует о соскладчатом этапе восстановленного сдвигового общего поля напряжений, согласующегося с данными предшественников о сдвигах по меридиональным разломам района. Противоречащие общему сдвиговому полю напряжений рассчитанные перемещения на плоскостях действия максимальных напряжений в ЛСС (5 единиц) идеально соответствуют общему полю напряжений взбросового типа, в котором ось растяжения сменилась на промежуточную ось. Плоскости действия, по которым реализация смещения в ЛСС должна была происходить в обстановке одноосного сжатия, не изменив своего ориентацию, остаются в согласии с более молодым взбросовым напряженным состоянием, но зато плоскости τ_{\max} со смещением при одноосном растяжении противоречат предполагаемому молодому взбросовому общему полю напряжений. Поскольку таких взаимоисключающих в общем поле напряжений сдвигового (соскладчатого) и взбросового (орогенного) этапов плоскостей τ_{\max} оказалось по 5 единиц, то можно предположить, что на основании имеющегося материала выраженность в бороздах скольжения и других данных сдвигового и взбросового общего поля тектонических напряжений почти равнозначна при некоторой предпочтительности проявленности тектонических напряжений соскладчатого этапа. Необходимо учесть, что по два ЛСС восстановлено в кайнозойских отложениях Южно-Камышового мегаподнятия. Это подтверждает, во-первых, что все вышесказанные предположения и утверждения о разновозрастности восстановленных тектонических напряжений относятся к постмиоценовому возрасту. Во-вторых, что касается молодого орогенного поля напряжений, то оно, наряду с соскладчатым, более уверенно восстанавливается в зонах активизации разломов, ограничивающих блоки орогенного этапа. В то же время, внутри блоков могут лучше сохраняться следы соскладчатых деформаций без отражения более молодых орогенных полей напряжений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В постмиоценовых полях напряжений Южного Сахалина выделяется два общих поля напряжений без разделения на западную и восточную зоны влияния смещений разных плит, выделяемых в районе исследований: более раннее складчатое общее поле напряжений характеризуется сдвиговым типом с субгоризонтальными осями сжатия широтного простирания и субмеридионального растяжения. Впервые произведенный совместный анализ векторов перемещения на плоскостях действия локальных стресс-состояний в сочетании с данными о механизмах землетрясений позволил обосновать переиндексацию субгоризонтальной оси растяжения с субвертикальной промежуточной осью главных нормальных напряжений на орогенном этапе развития территории, начало которого датируется в 1.8 млн лет. Хотя результаты исследований обоснованы сравнительно небольшим объемом фактического материала, они согласуются с данными В.В. Голозубова и др., а также В.С. Рождественского о трансформации правосдвиговых перемещений вдоль систем меридиональных разломов во взбросо-надвиговые.

Авторы признательны В.В. Афанасьеву, А.О. Горбунову, В.М. Граннику, П.А. Каменеву за обсуждение региональных вопросов и выбора пунктов исследований.

Работа выполнена при частичной поддержке по гранту РФФИ 15-05-06857а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И., Ким Ч.У., Сергеев К.Ф., Стрельцов М.И., Кожурин А.И., Бесстрашнов В.М., Стром А.Л., Сузуки Я., Цуцуми Х., Ватанабе М., Уеки Т., Шимамото Т., Окумура К., Гото Х., Кария Я. Активные разломы северо-восточного Сахалина // Геотектоника. 2002. № 3. С. 66–86.
2. Воейкова О.А., Несмеянов С.А., Серебрякова Л.И. Неотектоника и активные разломы Сахалина. М.: Наука, 2007. 187 с.
3. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
4. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Гранник В.М., Нечаюк А.Е. Деформации позднемиоценовых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2012. № 5. С. 22–43.
5. Гранник В.М. Геология и геодинамика южной части Охотоморского региона в мезозое и кайнозое. Владивосток: Дальнаука, 2008. 297 с.
6. Гранник В.М. Хоккайдо–Сахалинская область: геологическое строение и развитие // Современное состояние наук о Земле: Междунар. конф., посвящ. памяти В.Е. Хаина, 1–4 февр. 2011 г., г. Москва. М., 2011. С. 494–498. <http://khain2011.web.ru>
7. Гущенко О.И. Кинематический принцип реконструкции направлений главных напряжений (по геологическим и сейсмологическим данным) // Докл. АН СССР. Сер. геофиз. 1975. Т. 225, № 3. С. 557–560.
8. Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений в литосфере. М.: Наука, 1979. С. 7–25.
9. Жаров А.Е. Геологическое строение и мел-палеогеновая геодинамика юго-восточного Сахалина. Южно-Сахалинск: Кн. изд-во, 2004. 192 с.
10. Злобин Т.К. Динамика сейсмического процесса и строение очаговых зон сильных землетрясений Сахалина и Курил. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2005. 141 с.
11. Кожурин А.И. Активная геодинамика северо-западного сектора Тихоокеанского тектонического пояса (по данным изучения активных разломов): Автореф. дис.... д-ра геол.-минер. наук. М., 2013. 46 с.
12. Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. Современные исследования механизмов очагов землетрясений о. Сахалин. Владивосток: Дальнаука, 2014. 252 с.
13. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 174 с.
14. Кучай В.К. Современная орогенная структура южной части о. Сахалин // Тихоокеан. геология. 1987. № 1. С. 50–57.
15. Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин. М.: Янус-К, 2009. 204 с.
16. Осокина Д.Н. Об иерархических свойствах тектонического поля напряжений и деформаций в земной коре. Поля напряжений и деформаций в земной коре / Под ред. А.С. Григорьева, Д.Н. Осокиной. М.: Наука, 1987. С. 136–151.
17. Ребецкий Ю.Л. Методы реконструкции тектонических напряжений и сеймотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // Докл. АН. 1999. Т. 365, № 3. С. 392–395.
18. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: ИЦК «Академкнига», 2007. 406 с.
19. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саянского горного образования // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 2. С. 271–291.
20. Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 407 с.
21. Рождественский В.С. Сдвиги Восточно-Сахалинских гор // Докл. АН СССР. 1969. № 1. С. 156–159.
22. Рождественский В.С. Роль сдвигов в формировании структуры Сахалина, месторождений углеводородов и рудоносных зон // Геология и геодинамика Сихотэ-Алиньской и Хоккайдо-Сахалинской складчатых областей. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 80–109.
23. Сим Л.А. Определение регионального поля по данным о локальных напряжениях на отдельных участках // Изв. вузов. Геология и разведка. 1982. № 4. С. 35–40.
24. Сим Л.А. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Европы // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. Сборник, посвященный 80-летию М.В.Гзовского. М.: Наука, 2000. С. 326–350.
25. Сим Л.А., Жиров Д.В., Маринин А.В. Реконструкция напряженно-деформированного состояния восточной части

- Балтийского щита // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 2, № 3. С. 219–243. doi:10.5800/GT2011230044
26. Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д. Землетрясения на Сахалине. М.: Наука, 1967. 178 с.
27. Стрельцов М.И. Активные разломы Курило-Охотского региона, Сахалина Приморья и Приамурья // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии / Под ред. М.И. Стрельцова, В.С. Рождественского. М., 1995. Вып. 2–3. С. 387–407.
28. Татаурова А.А. Поля напряжений и деформаций по данным механизмов коровых землетрясений о. Сахалин // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. Вып. 27, № 3. С. 92–101.
29. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М.: Науч. мир, 2001. С. 251–252.
30. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Науч. мир, 2010. 275 с.
31. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сейсмостектонических деформаций. М.: Наука, 1990. 191 с.

Рекомендована к печати В.Г. Быковым

L.A. Sim, L.M. Bogomolov, O.A. Kuchay, A.A. Tataurova

Neotectonic and modern stresses in South Sakhalin

Tectonophysical investigations were carried out in South Sakhalin to determine changes in time and space of the geodynamic settings of the structures formation in the region. The analysis made on the data obtained in the course of the filed work allowed us to distinguish 11 local stress states (LSS) in large recent megastructures developed on the geological basement of different age. An essential discrepancy in the tectonic stress parameters has been noted for each LSS. Particularly sharply changed are orientations of contraction and tension axes in various fault limbs down to their reindexation. Tectonic stresses of two ages were reconstructed at invariable latitudinal and subhorizontal contraction axis. An earlier shear stress field is of post-Miocene age, co-folded with sub-horizontal and meridional axis of stretching, and the later stress field of an upthrust type is orogenic with a vertical axis of stretching. Stress states restored for the first time by the displacement vectors at the gliding surface in combination with the data on the earthquake mechanisms made it possible to justify the reindexation of subhorizontal axis stretching with a subvertical intermediate axis of the main normal stresses on postfolded orogenic stage of development of the territory. These results are consistent with those of the predecessors about the transformation of the right-lateral faults along the systems of meridional faults into reverse-shear thrust ones. A young stress field is restored more confidently in the fault activation zones bounding blocks of the orogenic stage, while inside the blocks, composed of the older and more complicated dislocated Mesozoic rocks, are better preserved traces of cofolded deformations without reflection of younger orogenic stress fields.

Key words: neotectonics, tectonic stresses, faults, gliding slip-scratches, contraction axis, axis of stretching, Sakhalin.