

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО САХАЛИНА

© 2023 П.А. Каменев¹, А.В. Маринин², В.А. Дегтярев¹, А.Р. Лукманов^{1,2}

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия, 693022;
e-mail: p.kamenev@imgg.ru

²Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Москва, Россия, 123242

Поступила в редакцию 13.01.2023 г.; после доработки 18.02.2023 г.; принята в печать 30.03.2023 г.

В статье представлены данные реконструкции поля тектонических напряжений центральной части о. Сахалин, полученные в результате полевых тектонофизических исследований 2020–2022 гг. Выполненные тектонофизические замеры позволили определить преимущественную ориентацию основных систем зеркал скольжения разной кинематики. Территория Центрального Сахалина характеризуется преимущественно субвертикальной ориентацией оси максимального сжатия, а также субгоризонтальной и преимущественно субмеридионально направленной осью минимального сжатия (растяжения). Главной выявленной особенностью Центрального Сахалина является преобладание для всей его территории горизонтального растяжения как типа напряженного состояния. В западной его части существенное значение имеют обстановки горизонтального сдвига и горизонтального сжатия. В приосевой и восточной части Центрального Сахалина, при приближении к Охотскому морю, увеличивается число обстановок горизонтального растяжения. Показано кардинальное отличие полученных результатов реконструкции поля напряжений от результатов аналогичных исследований в других геодинамически активных регионах страны.

Ключевые слова: тектонические напряжения, деформации, зеркала скольжения, остров Сахалин.

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкции тектонических напряжений о. Сахалин посвящено довольно много работ. В основе некоторых из них лежат, прежде всего, геофизические данные, а именно механизмы очагов землетрясений (Татаурова, 2015; Polets, 2019). Использование таких методик, несомненно имеет успех, но нужно отметить, что качественные сейсмологические данные, позволяющие проводить такие оценки, довольно немногочисленны и относятся лишь к последним нескольким десяткам лет. Другим недостатком инверсии тектонических напряжений в работах (Татаурова, 2015; Polets, 2019), является зависимость от места сейсмического события. В тех местах, где сейсмичности нет или же события не отвечали критериям реконструкции механизмов очагов землетрясений, наблюдаются брешы в реконструируемом поле напряжений. Другим подходом для реконструкции тектонических

напряжений являются скважинные методы (Дубиня, 2019; Brudy et al., 1997; Dubinya et al., 2017). Но и у них есть еще большее количество недостатков по сравнению с сейсмологическими методами. В частности, при современном состоянии изученности глубоким бурением о. Сахалин, невозможно оценить этими методами обширные территории по целому ряду причин (Дубиня, 2019). Прежде всего, по причине дороговизны. Эти методы хороши больше с прикладной точки зрения, для оценок напряженного состояния конкретных месторождений. Упомянутых недостатков лишены полевые геологические методы реконструкции напряжений. Но и у них есть ограничения. Выход из ситуации — комплексирование всех возможных методов, именно этот путь сегодня широко используется как в индустрии, так и в фундаментальной науке (Brudy et al., 1997; Heidbach et al., 2018; Zoback, 2007).

Результатам полевых методов изучения напряженно-деформированного состояния

Сахалина посвящено достаточно много публикаций (Голозубов и др., 2012, 2016; Сим и др., 2017а, 2017б), в том числе, выполненные и авторами настоящей работы (Маринин и др., 2021; Bogomolov et al., 2020).

Настоящая статья территориально охватывает Центральный Сахалин, где ранее проводились исследования другими авторами на существенно меньшей площади (Голозубов и др., 2012, 2016; Bogomolov et al., 2020). Район изучения с юга ограничен широтой от с. Восточное, а с севера широтой с. Арги-Паги (рис. 1). Площадь исследования довольно обширна и труднодоступна.

Статья является продолжением начатых в 2016 г. совместных работ на Сахалине, сотрудниками Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН) и Института физики Земли Российской академии наук им. О.Ю. Шмидта (ИФЗ РАН) выполненных на юге и крайнем севере о. Сахалин (Маринин и др., 2021; Сим и др., 2017а, 2017б, 2017в; Bogomolov et al., 2020).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данные, описываемые в настоящей работе, получены с помощью реконструкции напряженно-деформированного состояния структурно-парагенетическим методом анализа малых дизъюнктивов (Расцветаев, 1987), и методом катакластического анализа разрывных смещений (Ребецкий, 2003; Ребецкий и др., 2017).

Метод структурно-парагенетического анализа малых дизъюнктивов (тектонической трещиноватости) основан на представлении о квазипластическом деформировании массива горных пород, которое обеспечивает энергетическую эффективность смещений по предварительно образованным нарушениям массива пород. Допускается использование основных типов геологических индикаторов напряжений, которые характеризуют общий пространственно-временной ряд квазипласти-

ческого деформирования выбранного участка горных пород. Малые дизъюнктивы (или тектоническая трещиноватость в широком смысле), образуют закономерные структурные рисунки, связанные между собой пространственно-временными характеристиками которые могут быть объединены в парагенетические ассоциации или структурные парагенезисы (парагенезы). Полученные полевые данные в виде структурных диаграмм анализировались как для отдельных точек наблюдения, так и проводилась группировка в соответствие с их положением в тектонической структуре региона. При этом, учитывая большую территорию исследования, было принято решение о целесообразности анализа данных реконструкции тектонических напряжений по отдельным зонам, далее объединяя их для выявления закономерностей уже для всего Центрального Сахалина.

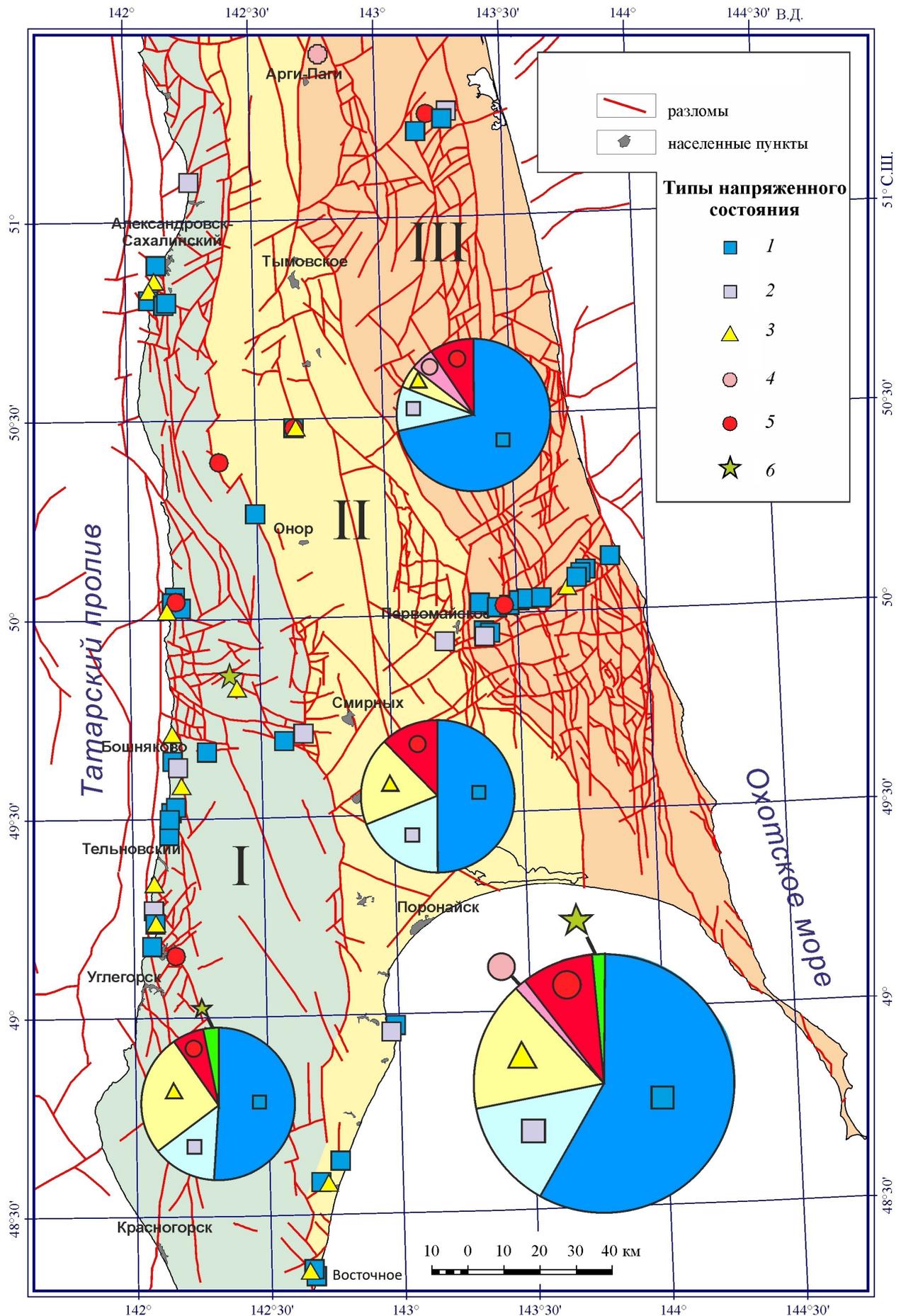
При обработке замеров зеркал скольжения с установленной кинематикой смещений был использован метод катакластического анализа разрывных смещений (МКА) (Ребецкий, 2003, 2007) и разработанная на его основе компьютерная программа STRESSgeol (Ребецкий, 2007; Ребецкий и др., 2017). Метод позволяет определить количественные характеристики реконструируемых локальных стресс-состояний. Это, прежде всего, положение осей главных напряжений, тип напряженного состояния, коэффициент Лоде-Надаи (Ребецкий, 2007), а также величины самих напряжений.

Базовые положения метода основаны на представлениях о квазипластическом деформировании геологической среды и положениях современной теории пластичности, при максимуме диссипации внутренней упругой энергии для искомого тензора напряжений. Программа STRESSgeol, содержит в своей основе автоматизированный итерационный алгоритм разделения сколов на однородные выборки, которые определяют временные фазы квазиоднородного деформирования макрообъема при достижении максимума суммарной энергии диссипации с минимальным количеством выделяемых фаз.

Рис. 1. Основные типы напряженного состояния и разломы Центрального Сахалина для каждой точки наблюдения. Зоны Центрального Сахалина (Западная — I, Центральная — II и Восточная — III). На круговых диаграммах показаны типы напряженного состояния для каждой зоны и отдельно для всего региона исследования. Цифрами обозначены: 1 — горизонтальное растяжение; 2 — горизонтальное растяжение в сочетании со сдвигом; 3 — горизонтальный сдвиг; 4 — горизонтальное сжатие в сочетании со сдвигом; 5 — горизонтальное сжатие; 6 — сдвиг в вертикальной/горизонтальной плоскости.

Fig. 1. Faults of Central Sakhalin and the main types of stress state for each observation points. Zones of Central Sakhalin are marked with different color fillings and Roman numerals (I is for West zone, II is for Central zone, and III for East zone). The pie charts show the types of stress state for each zone and separately for the entire study area. The numbers indicate: 1 — horizontal extension; 2 — horizontal extension combined with shear; 3 — horizontal shear; 4 — horizontal compression combined with shear; 5 — horizontal compression; 6 — shear in the vertical/horizontal plane.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ



РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Современная структура о. Сахалин представляет собой две системы поднятий субмеридиональной ориентировки, расположенных вдоль западного и восточного побережья, которые разделены центральной впадиной (Воейкова и др., 2007; Мельников, 1987). Элементы этой структуры наиболее отчетливо проявлены в центральной и южной частях острова, которые характеризуются горным, расчлененным рельефом. Северная часть острова в настоящее время представляет собой прогиб, перекрытый мощным чехлом позднекайнозойских отложений с холмисто-увалистым рельефом. Однако и там прослеживаются краевые поднятия с разделяющим их центральным понижением (Kozhurin, 2022).

Большинство исследователей, на территории Сахалина выделяют крупные тектонические зоны или террейны (Голозубов и др., 2016; Гранник 2012, 2014, 2016; Жаров, 2003; Объяснительная..., 2000; Харахинов, 2010 и др.). Единой общепринятой схемы террейнов о. Сахалин не существует. Тем не менее, целым рядом специалистов, выделяются и описываются эти геологические тела. В серии публикаций В.М. Гранника (2012, 2014, 2016) на территории Центрального Сахалина выделены 8 террейнов: Хановско-Краснотымовский, Таулан-Армуданский, Набильский, Рымникский, Гомонский, Терпеньеvский, Вальзинский, Западно-Сахалинский. Другие авторы рассматривают более крупные структуры — Западно-Сахалинскую и Восточно-Сахалинскую складчатые системы, разделяемые Центрально-Сахалинской и Охотоморской субдукционными сутурами (Голозубов и др., 2016; Жаров, 2003; Объяснительная..., 2000; Харахинов, 2010). Данные структуры выделяются и в работе (Гранник, 2014).

В работе (Воейкова и др., 2007) среди новейших разрывных структур Сахалина выделяются следующие зоны: Западно-Сахалинская шовно-сбросовая, Центрально-Сахалинская шовно-надвиговая и Восточно-Сахалинская шовно-сдвиговая. В выделении крупных структур часть авторов опирается на данные геофизических исследований: сейсморазведку (глубинное сейсмическое зондирование, корреляционный метод преломленных волн, метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки), магниторазведку а также гравиметрию (Рождественский, 2008; Харахинов, 2010; Egorov et al., 2022).

Территория исследования достаточно обширна. Самая северная точка наблюдения (т.н.), № 21104, с координатами 51°25.073' с.ш. 142°46.674' в.д., — карьер вблизи реки Ианли

Тымовского района (рис. 1), а самая южная т.н., № 21081, с координатами 48°20.857' с.ш. 142°39.987' в.д., устье реки Лазовая Макаровского района (рис. 1). Было принято решение о выделении трех крупных зон на территории исследования: Западно-Сахалинской, Центрально-Сахалинской и Восточно-Сахалинской (рис. 1). Границы выделенных нами зон во многом соответствуют контурам террейнов, представленных в (Объяснительная..., 2000).

Западно-Сахалинская зона изучалась в обнажениях абразионного уступа восточного побережья Татарского пролива. При интерпретации измерений учитывалось возможное влияние на них движений в Западно-Сахалинской разломной зоне, отделяющей поднятие острова от прогиба Татарского пролива. Зона разлома представлена густой сетью связанных между собой сбросов и сбросо-сдвигов, реже взбросов (Харахинов и др., 1984). Границей между Западно-Сахалинской и Центрально-Сахалинской зоной, выделенной нами, является Центрально-Сахалинский разлом, который в общем виде характеризуется как надвиговой (Воейкова, 2007). Между Восточно-Сахалинской и Центрально-Сахалинской зоной граница выражена не столь ярко и представляет собой систему Хоккайдо-Сахалинского, Набильского и Тымского разломов. С востока Восточно-Сахалинская зона ограничена Катанглийским разломом простирающимся уже под водами Охотского моря (Харахинов и др., 1984).

Наиболее плотной сеткой точек наблюдений покрыта Западно-Сахалинская зона. Относительно недавнее формирование Западно-Сахалинских горно-складчатых сооружений, обусловило хорошую обнаженность в глубине острова, а также вдоль побережья в виде почти непрерывного клифа. Западно-Сахалинская зона является фрагментом западного борта позднемелового-кайнозойского преддугового прогиба, надвинутым на восточные части острова в период сахалинской фазы складчатости (Гранник, 2016). В строении зоны можно выделить нижнюю и верхнюю части. Нижняя часть формировалась в допозднемеловое время, когда территория Сахалина являлась частью глубоководного океанического бассейна. Отложения представлены аргиллитами, алевролитами и песчаниками, с редкими прослоями туффитов и туфов, линзами глинистых известняков (Голозубов и др., 2016). Верхняя часть зоны формировалась в окраинно-морских и континентальных условиях, начиная с альб-сеноманской структурной перестройки, когда Сахалин стал частью активной континентальной окраины, с накоплением туфогенно-терригенных и угленосных отложений (Гранник, 2016).

Центрально-Сахалинская зона сложена выступами метаморфического комплекса. Существенные отличия между литологией соседних Западной и Восточной зон начинаются с середины мелового периода. Совместно с поперечной зональностью наблюдается менее отчетливая продольная зональность. В районах поднятий прослеживаются метаморфические комплексы Центрально-Сахалинской зоны, а в пределах опусканий залегают кайнозойские бассейны осадконакопления с максимальной мощностью терригенных образований до 9–11 тыс. м. (Гранник, 2012; Объяснительная..., 2000).

Литология Восточно-Сахалинской зоны представлена переслаиванием кремнисто-известково-вулканогенных и глубоководных турбидитных песчано-алевролитоглинисто-сланцевых толщ, включающих линзы серпентинитов. В олистостромах и меланже наблюдаются олистолиты и тектонические блоки палеозойских, триасовых и юрских-нижнемеловых кремнисто-вулканогенных пород и известняков. Среди вулканогенных образований встречаются линзы рифогенных известняков, с позднеюрскими-раннемеловыми кораллами, кремнисто-вулканогенные толщи и глубоководные турбидиты, которые содержат меловую микрофауну. В восточной части террейна наблюдаются туфогенно-терригенные толщи с позднекампанскими иноцерамами. Палеоген-неогеновые отложения залегают на меловых с резким структурным несогласием (Гранник, 2014; Объяснительная..., 2000).

ДАННЫЕ ПОЛЕВЫХ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые структурные исследования проведены в 68 точках. Наибольшее количество точек расположено в Западно-Сахалинской зоне (31), меньшее количество точек наблюдения в пределах Восточно-Сахалинской (21) и Центрально-Сахалинской (16) зоны (рис. 1). В ходе полевых работ были собраны данные по разным типам геологических индикаторов напряжений/деформаций. Особое внимание уделялось замерам и сбору данных по зеркалам скольжения. Всего выполнено 692 измерений зеркал скольжения, из них большая часть со сбросовой кинематикой — 320, чуть меньше со сдвигом — 314, и 58 — со взбросовой компонентой.

В точках наблюдения, в которых прослеживались элементы залегания слоистости, были выполнены соответствующие замеры. Азимуты падения слоистости направлены в основном в западных румбах, при углах наклона от первых градусов до 55–80°. Восточные падения слоисто-

сти встречаются реже, углы падения при этом, как правило крутые (75–90°).

Выполненные замеры позволили определить преимущественную ориентацию основных систем зеркал скольжения разной кинематики в трех зонах Центрального Сахалина. В Западной зоне сбросовые зеркала скольжения в большинстве случаев имеют субмеридиональное простирание и падение на ЗСЗ под углом 40–70°.

В парагенезе с ними находится и максимум концентрации взбросовых зеркал скольжения с падением на ССВ под углом 50–80°. В Центральной зоне при сохраняющемся субмеридиональном простирании сбросовые зеркала скольжения имеют падение уже на восток под крутыми (50–80°) углами. В Восточной зоне ориентировка сбросовых систем зеркал скольжения более разнообразная — есть СЗ, СВ и ВСВ простирания. Ориентация остальных кинематических систем зеркал скольжения достаточно разнообразная и требует дальнейшего изучения (сбора дополнительных данных).

В данной работе сделан акцент на инверсию поля тектонических напряжений на основе зеркал скольжения, по которым возможно определение кинематического типа относительного смещения бортов нарушения (Ребецкий и др., 2017). В отдельных случаях, кинематический тип был подтвержден замеренной амплитудой смещения или ее компоненты. Поскольку, большинство замеров проведено в неогеновых отложениях, а зафиксированные деформационные структуры формировались заведомо позже времени формирования этих отложений, то можно сказать, что данные реконструкции могут быть отнесены к неотектоническому этапу деформирования региона.

На основе полевых замеров была проведена реконструкция с использованием метода катакластического анализа разрывных нарушений во всех точках наблюдения (таблица; рис. 2–4).

Для разных районов Центрального Сахалина характерна преимущественно субвертикальная ориентация оси максимального сжатия, а направление осей минимального и промежуточного сжатия варьирует по исследованной территории (рис. 3). В восточной части у большинства локальных стресс-тензоров оси растяжения имеют ССВ направление, а промежуточные оси — ЗСЗ направление (при субгоризонтальном положении). В центральной части исследованной территории оси растяжения ориентированы субширотно, промежуточные — субмеридионально. Для западной зоны Центрального Сахалина вариации направлений осей главных напряжений существеннее, но можно отметить, что оси максимального сжатия и промежуточная в большинстве случаев субвертикальны или

94 Параметры палеонапряженного состояния Центрального Сахалина
Parameters of the paleostress state of Central Sakhalin area

№	Номер точки	Координаты точек наблюдения		σ_1		σ_2		σ_3		Тип напряженного состояния	μ_c	Элементы залегания	Количество замеров	
		с.ш.	в.д.	Аз	Пд	Р	Аз	Пд	Р				Аз	Пд
1	20060	50° 05.563'	143° 44.308'	167	27	66	21	304	54	горизонтальное растяжение	0.04	329 \angle 10	8	8
2	20061	50° 05.644'	143° 44.541'	146	26	54	4	317	64	горизонтальное растяжение	0.42	334 \angle 10	9	9
3	20062	50° 05.724'	143° 44.634'	131	27	232	19	353	55	горизонтальное растяжение	-0.01	284 \angle 12	7	7
4	20066	50° 08.174'	143° 51.883'	349	21	246	29	110	52	горизонтальное растяжение	-0.01	214 \angle 50	8	8
5	20068	50° 03.654'	143° 41.660'	202	10	72	74	294	12	горизонтальный сдвиг	0.01	204 \angle 10	7	5
6	21075	48° 21.340'	142° 38.755'	108	6	6	65	201	24	горизонтальный сдвиг	-0.03	79 \angle 70	14	13
7	21076	48° 21.861'	142° 39.490'	258	6	167	10	17	78	горизонтальное растяжение	0.03	109 \angle 70	12	9
8	21077	48° 35.008'	142° 41.559'	276	0	6	18	186	72	горизонтальное растяжение	0.11	89 \angle 75	6	4
9	21078	48° 34.602'	142° 43.104'	216	6	316	60	122	29	горизонтальный сдвиг	0.08	79 \angle 70	12	10
10	21079	48° 38.185'	142° 45.962'	245	18	153	5	46	71	горизонтальное растяжение	0.16		11	8
11	21080	48° 38.089'	142° 45.920'	110	23	16	7	270	66	горизонтальное растяжение	0.08		12	12
12	21081	48° 20.857'	142° 39.987'	102	12	196	16	337	70	горизонтальное растяжение	-0.37		8	7
13	21083	49° 14.159'	142° 05.091'	288	11	21	15	162	71	горизонтальное растяжение	0.13		10	8
14	21084	49° 14.211'	142° 05.106'	251	17	136	54	351	30	горизонтальный сдвиг	0.14		10	5
15	21086	49° 38.715'	142° 09.828'	78	0	168	50	348	40	гор. раст. в сочетании со сдвигом	-0.3	71 \angle 80	10	8
16	21087	49° 38.802'	142° 09.305'	203	5	112	16	311	74	горизонтальное растяжение	-0.45		8	7
17	21088	49° 29.997'	142° 08.493'	318	5	226	26	59	64	горизонтальное растяжение	0.01		9	6
18	21089	49° 26.968'	142° 08.192'	205	16	301	18	76	65	горизонтальное растяжение	0.29		11	9
19	21091	49° 16.268'	142° 04.580'	188	8	287	46	91	42	гор. раст. в сочетании со сдвигом	-0.1		8	6
20	21092	49° 10.866'	142° 04.018'	258	12	167	3	62	78	горизонтальное растяжение	0.1	224 \angle 15	10	10
21	21093	50° 47.927'	142° 09.546'	69	28	335	8	231	60	горизонтальное растяжение	0.03		8	8
22	21094	50° 47.597'	142° 08.744'	356	4	264	24	95	66	горизонтальное растяжение	0.23		8	8
23	21095	50° 49.300'	142° 05.214'	83	30	346	13	236	57	горизонтальное растяжение	0.38		13	10
24	21096	50° 49.370'	142° 05.416'	348	28	127	56	247	19	горизонтальный сдвиг	-0.09		9	5
25	21097	50° 50.872'	142° 06.647'	306	6	48	63	214	26	горизонтальный сдвиг	0.18		15	10
26	21098	50° 53.579'	142° 07.202'	77	18	169	4	270	72	горизонтальное растяжение	-0.39	265 \angle 80	12	6
27	21099	51° 06.044'	142° 15.267'	294	0	24	41	204	49	гор. раст. в сочетании со сдвигом	-0.24		9	9
28	21100	51° 14.853'	143° 15.854'	306	6	216	4	94	83	горизонтальное растяжение	-0.05	250 \angle 45	10	7
29	21101	51° 15.078'	143° 15.927'	252	6	157	42	348	48	гор. раст. в сочетании со сдвигом	0.28		10	8
30	21102	51° 15.576'	143° 11.999'	180	60	312	21	50	20	горизонтальное сжатие	-0.41		8	5

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Таблица. Продолжение
Table. Continued

31	21103	51° 13.150'	143° 09.459'	282	0	192	31	12	59	горизонтальное растяжение гор. сж. в сочетании со сдвигом	0.07	12	11
32	21104	51° 25.073'	142° 46.674'	142	42	7	38	256	24		-0.05	10	7
33	21106	50° 28.733'	142° 39.080'	62	63	193	18	290	19	горизонтальное сжатие	0.05	10	7
34	21107	50° 28.692'	142° 39.084'	229	27	48	63	138	0	горизонтальный сдвиг	-0.13	8	8
35	21114	50° 02.152'	143° 35.603'	185	11	90	24	298	63	горизонтальное растяжение	0.07	11	10
36	21115	50° 02.067'	143° 32.357'	120	6	214	32	21	57	горизонтальное растяжение	-0.24	239/40	12
37	21116	50° 01.909'	143° 30.383'	216	6	306	5	75	82	горизонтальное растяжение	0.12	9	9
38	21117	50° 01.245'	143° 28.148'	199	15	293	14	65	69	горизонтальное растяжение	0.3	229/60	10
39	21118	50° 01.336'	143° 27.169'	289	71	158	13	65	14	горизонтальное сжатие	-0.48	10	9
40	21119	50° 00.951'	143° 25.257'	47	11	138	4	246	78	горизонтальное растяжение	-0.06	10	10
41	21120	49° 57.087'	143° 21.995'	161	15	264	40	55	46	гор. раст. в сочетании со сдвигом	0.28	11	7
42	21121	49° 57.153'	143° 23.389'	206	16	299	13	66	69	горизонтальное растяжение	0.05	11	8
43	21122	49° 57.249'	143° 22.181'	282	12	192	2	90	78	горизонтальное растяжение	-0.08	9	8
44	21123	50° 01.715'	143° 21.344'	162	25	71	4	333	65	горизонтальное растяжение	0.04	9	7
45	21124	50° 01.715'	143° 21.344'	270	12	7	29	160	58	горизонтальное растяжение	0.33	8	8
46	21125	48° 57.868'	142° 58.690'	36	6	300	44	132	46	гор. раст. в сочетании со сдвигом	-0.13	220/20	9
47	21126	48° 58.014'	142° 58.714'	110	23	19	2	284	67	горизонтальное растяжение	0.27	9	7
48	22144	49° 34.865'	142° 11.18'	152	11	46	54	249	34	горизонтальный сдвиг	0.18	219/80	7
49	22145	49° 09.477'	142° 09.486'	270	72	121	16	29	9	горизонтальное сжатие	-0.12	12	10
50	22146	49° 40.071'	142° 17.286'	338	21	79	26	215	56	горизонтальное растяжение	-0.34	14	12
51	22147	49° 42.623'	142° 09.451'	195	11	46	78	286	6	горизонтальный сдвиг	-0.13	15	14
52	22148	49° 31.386'	142° 09.158'	283	18	15	8	127	71	горизонтальное растяжение	-0.52	13	11
53	22149	49° 31.026'	142° 08.947'	283	18	191	4	90	72	горизонтальное растяжение	0.14	9	6
54	22150	49° 20.126'	142° 04.568'	11	5	260	77	102	12	горизонтальный сдвиг	-0.36	8	6
55	22170	49° 42.631'	142° 39.657'	60	6	156	47	324	42	гор. раст. в сочетании со сдвигом	-0.49	340/25	7
56	22171	49° 41.584'	142° 35.139'	157	5	249	27	56	63	горизонтальное растяжение	0.35	290/60	8
57	22172	49° 49.256'	142° 24.513'	284	29	150	51	28	23	горизонтальный сдвиг	-0.17	250/70	12
58	22173	50° 01.859'	142° 11.819'	360	6	91	12	244	77	горизонтальное растяжение	0.1	70/75	12
59	22174	50° 01.209'	142° 08.554'	11	5	109	60	279	30	горизонтальный сдвиг	-0.11	10	9
60	22175	50° 02.437'	142° 10.063'	47	11	309	34	152	53	горизонтальное растяжение	0.1	10	10
61	22176	50° 02.822'	142° 10.643'	285	65	102	25	192	1	горизонтальное сжатие	0.01	12	12
62	22177	50° 03.076'	142° 10.297'	186	17	92	13	327	69	горизонтальное растяжение	0	11	10

Таблица. Окончание
Table. Continued

63	22178	49° 51.517'	142° 22.917'	187	42	285	9	25	47	сдвиг в верт.-гор. плоскости	0.11	8	8
64	22179	50° 15.851'	142° 29.559'	355	11	87	7	207	77	горизонтальное растяжение	-0.02	80<85	11
65	22182	50° 23.681'	142° 21.155'	310	51	70	22	174	30	горизонтальное сжатие	0.02	255<75	8
66	22183	49° 56.017'	143° 12.834'	360	6	262	53	94	36	гор. раст. в сочетании со сдвигом	0.01		11
67	22184	49° 56.036'	143° 12.817'	68	34	309	36	187	36	гор. раст. в сочетании со сдвигом	-0.03		9
68	22205	50° 28.754'	142° 38.860'	111	28	215	25	340	50	горизонтальное растяжение	0.06		10

Примечание. В столбцах указаны номера и координаты точек наблюдения, в которых проведена реконструкция с использованием метода катакластического анализа разрывных смещений (Ребецкий, 2007), ориентация (азимуты Аз Пд и углы погружения осей главных напряжений (σ_1 — минимальных (растяжение \angle), σ_2 — промежуточных и σ_3 — максимальных сжимающих напряжений), тип (обстановка) напряженного состояния, коэффициент Лодэ-Надаи μ_o (Ребецкий, 2007), элементы залегания слоистости (опр. — опрокинутое), общее количество замеров в точке (N), в том числе использованных (N исп) для расчета в программе STRESSgeol.

Note. The columns indicate the numbers and coordinates of the observation points where reconstruction was performed using the method of cataclastic displacement analysis (Rebetsky, 2007), orientation (azimuths Az Пд and dip angles \angle) of the principal stress axes (σ_1 — minimum (extension), σ_2 — intermediate and σ_3 — maximum compressive stresses), stress regime, Lode-Nadai coefficient μ_o (Rebetsky, 2007), bedding plane dip (опр. — overturned), the total number of measurements at a point (N) and the number used for calculation (N исп) in the STRESSgeol program.

ориентированы в меридиональном направлении (рис. 2).

Главной выявленной особенностью Центрального Сахалина является преобладание для всей его территории горизонтального растяжения как типа напряженного состояния. Кроме того, методом катакластического анализа разрывных нарушений для Центрального Сахалина определены такие типы напряженного состояния как горизонтальный сдвиг и горизонтальное растяжение в сочетании со сдвигом (рис. 1). Обстановки горизонтального сжатия и сжатия со сдвигом распространены существенно меньше. Редкими типами напряженного состояния Центрального Сахалина являются: горизонтальное сжатие в сочетании со сдвигом и сдвиг в вертикальной / горизонтальной плоскости (или сдвиг в вертикальной плоскости). Для столь обширной территории исследования и при большом количестве замеров, таких типов напряженного состояния набралось всего по одному. То есть, вероятно, это довольно редко встречающийся здесь тип напряженного состояния.

Подобную ситуацию можно наблюдать и отдельно по выделенным зонам. Структура типа напряженного состояния практически схожа в Восточно-Сахалинской и Центрально-Сахалинской зонах, но в Восточно-Сахалинской зоне горизонтальное растяжение встречается в два раза чаще. Незначительно проявляется горизонтальное сжатие в сочетании со сдвигом. Западно-Сахалинская зона отличается от двух других существенным количеством обстановок горизонтального сдвига, здесь их в несколько раз больше чем в других зонах. Кроме того, проявляется напряженное состояние типа сдвиг в вертикальной/горизонтальной плоскости, что не наблюдается в других зонах (рис. 1).

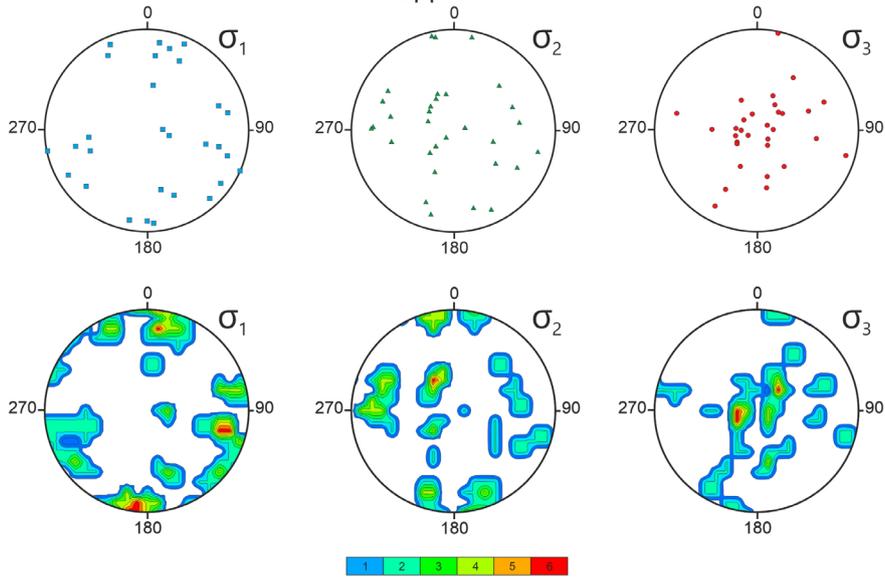
Интересно сопоставление полученных результатов с результатами исследования аналогичными методами в других тектонически активных регионах. Такое сравнение показывает, что

Рис. 2. Ориентация осей главных напряжений Центрального Сахалина для Западной, Центральной и Восточной зоны. На круговых диаграммах (равноугольная стереографическая проекция на верхнюю полусферу) показаны выходы осей главных напряжений: σ_1 — растяжения, σ_2 — промежуточной и σ_3 — сжатия. На шкалах приведены изолинии плотности концентрации соответствующих осей.

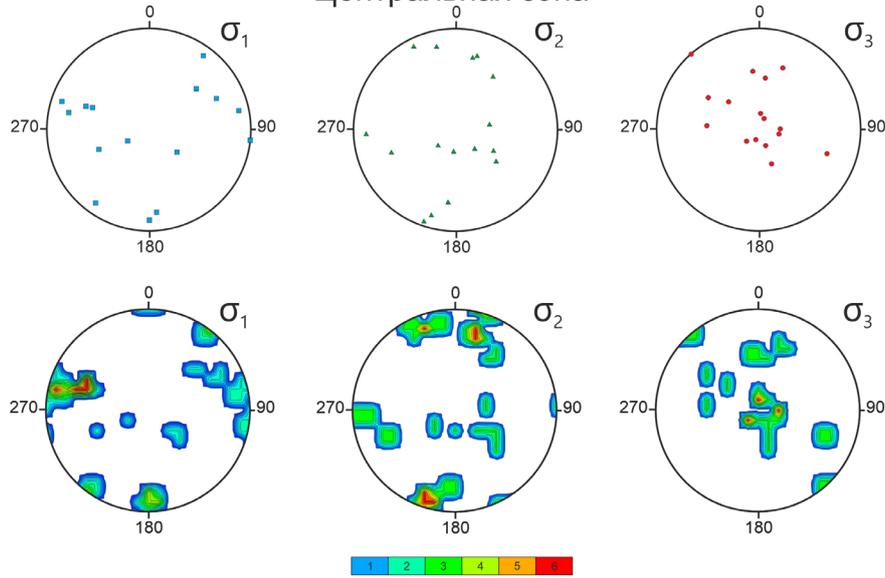
Fig. 2. Orientation of the main stress axes of Central Sakhalin for the Western, Central and Eastern zones. The circular diagrams show projections of principal stress axes on the upper hemisphere (equiangular stereographic projection): σ_1 — extension, σ_2 — intermediate and σ_3 — compression. The scales show the concentration density isolines of the corresponding axes.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

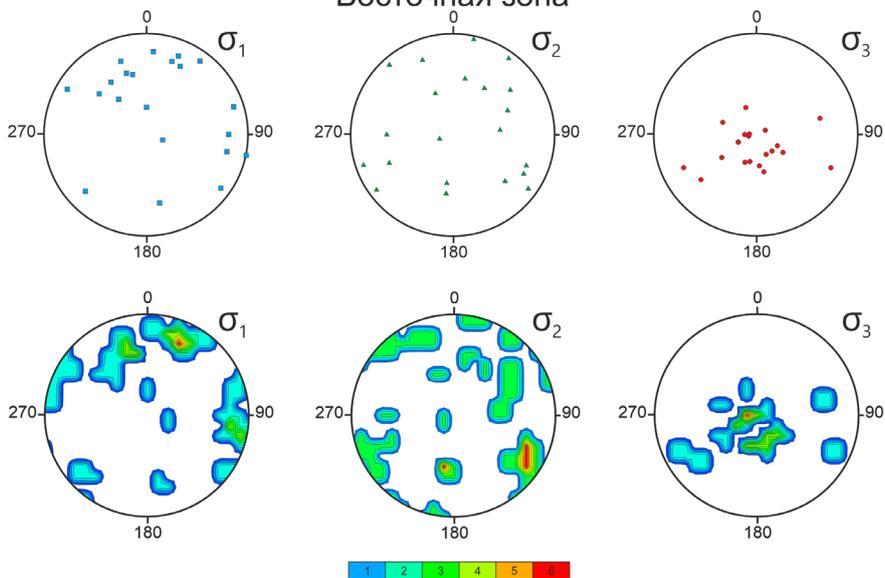
Западная зона



Центральная зона



Восточная зона



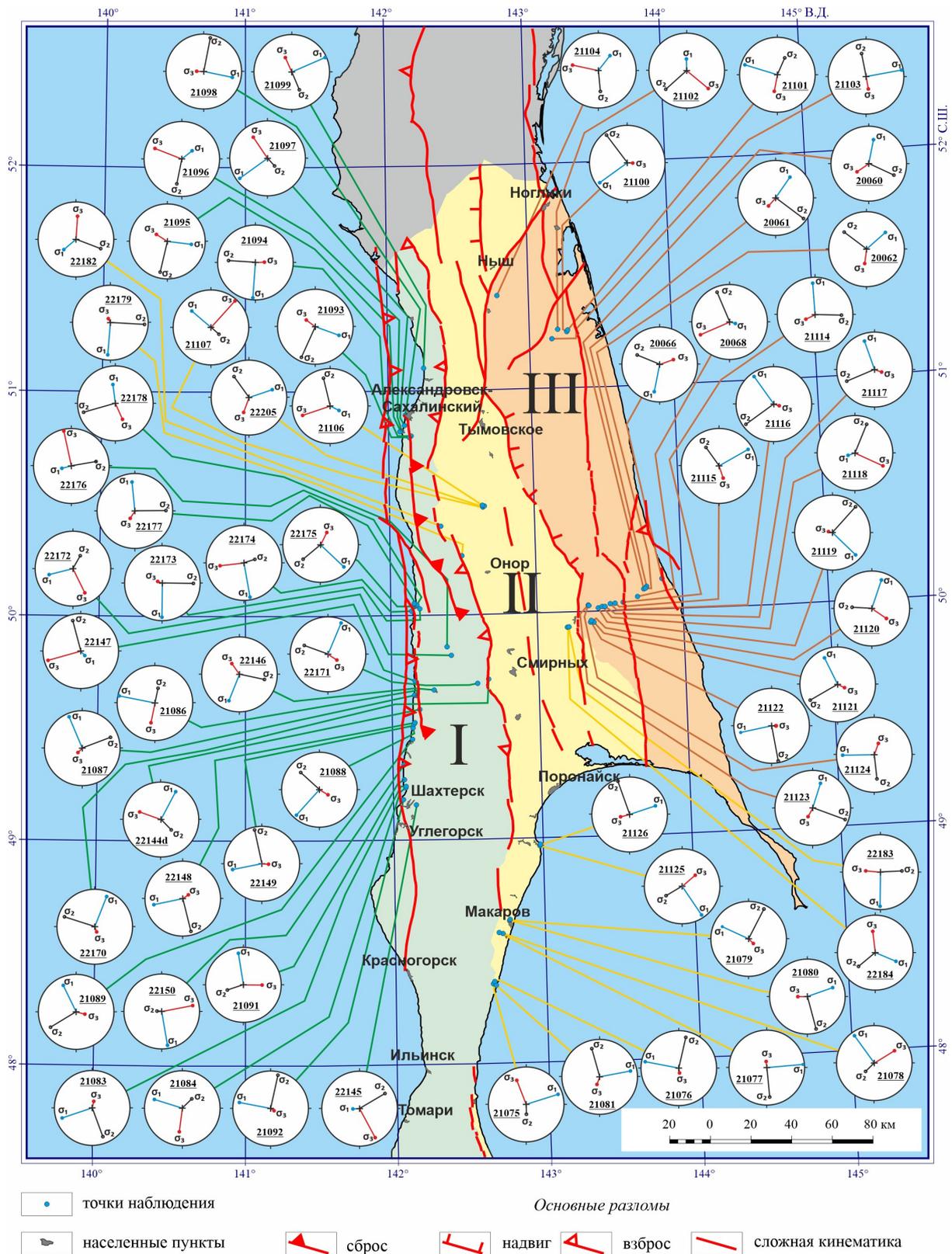


Рис. 3. Карта локальных стресс-состояний Центрального Сахалина. На круговых диаграммах (равноугольная стереографическая проекция на верхнюю полусферу) показано положение осей главных напряжений: σ_1 — растяжения (голубая линия), σ_2 — промежуточных главных (черная линия) и σ_3 — сжатия (красная линия). Цифрами на диаграммах обозначен номер точки наблюдения.

Fig. 3. Map of local stress states of Central Sakhalin. The circular diagrams (equiangular stereographic projection on the upper hemisphere) show the position of the principal stress axes: σ_1 — extension (blue line), σ_2 — intermediate (black line) and σ_3 — compression (red line). The numerals on the diagrams denote the numbers of the observation points.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

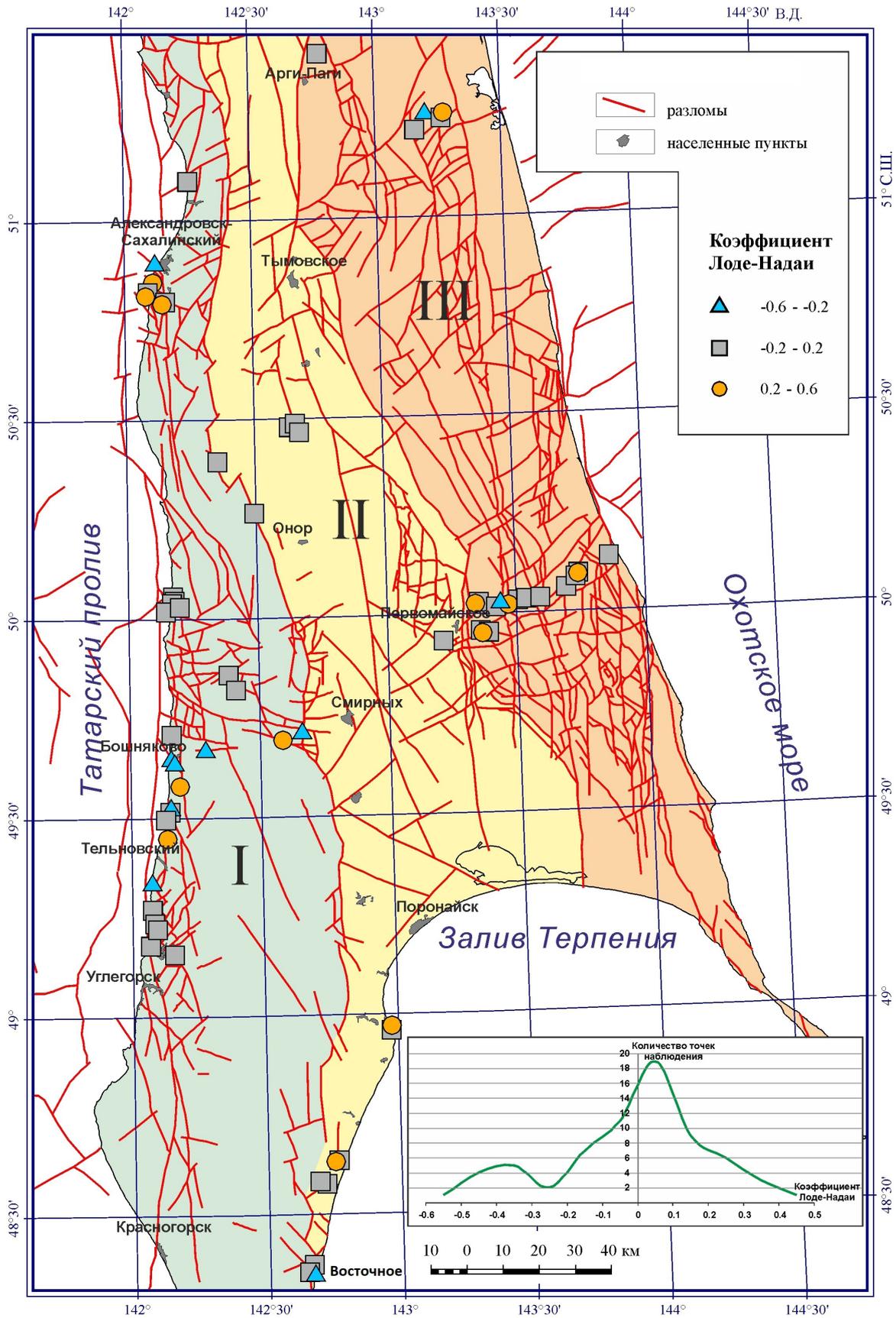


Рис. 4. Распределение коэффициента Лодэ-Надаи и разломы для территории Центрального Сахалина. На врезке представлено количественное соотношение значений коэффициента Лодэ-Надаи.

Fig. 4. Faults and distribution of the Lode-Nadai coefficient in Central Sakhalin. The inset shows the quantitative ratio of the Lode-Nadai coefficient values.

реконструируемые тектонические напряжения имеют существенные отличия от полученных в работах (Маринин, Тверитинова, 2016; Маринин и др., 2022) при аналогичных исследованиях в пределах горных сооружений Большого Кавказа и Горного Алтая. В этих горных сооружениях, среди типов напряженного состояния установлено преобладание обстановок горизонтального сжатия и горизонтального сдвига, а также их сочетания. Число таких типов напряженного состояния составляет до 70 %, что диаметрально противоположно результату, полученному нами для Центрального Сахалина. Преобладание на территории Центрального Сахалина обстановок горизонтального растяжения оказывает существенное влияние на проницаемость земной коры (проникновение флюидов) и образование основных нефтегазовых месторождений о. Сахалин.

Обработка замеров зеркал скольжения методом МКА позволила восстановить распределение коэффициента Лоде-Надаи μ_σ (рис. 4), который характеризует соотношение главных значений тензора и осей эллипсоида, при этом независим от выбора системы координат. Коэффициент варьирует от -1 до $+1$ (от одноосного растяжения до одноосного сжатия). Значение $\mu_\sigma = 0$ соответствует состоянию простого или чистого сдвига, при $\sigma_2 = 0$ и $\sigma_1 = \sigma_3$ (где σ_1, σ_2 и σ_3 — главные девиаторные напряжения). Экстремальные значения соответствуют девиаторному одноосному напряжению сжатия: $\mu_\sigma = +1$ (эллипсоид напряжений «сжат» в направлении оси максимального девиаторного сжатия и имеет околосферическое сечение, нормальное к этой оси): $\sigma_1 = \sigma_2 = -0.5\sigma_3$. При растяжении $\mu_\sigma = -1$ (эллипсоид напряжений имеет «вытянутую» форму в направлении оси максимального девиаторного растяжения и имеет практически круговое сечение, нормальное к этой оси): $\sigma_2 = \sigma_3 = 0.5\sigma_1$.

Для территории Сахалина подобные распределения были получены ранее целым рядом авторов (Сим и др., 2017в; Татаурова, 2015; Polets, 2019). В работе (Полец, 2019) также реконструировались напряжения с использованием коэффициента Лоде-Надаи, но это исследование затронуло лишь часть крайнего юга Сахалина.

По сравнению с результатами работ (Полец, 2019; Сим и др., 2017в; Татаурова, 2015; Polets, 2019), полученные нами значения коэффициента Лоде-Надаи не имеют экстремальных значений (одноосного сжатия или растяжения, то есть области с $\mu_\sigma = -1$ — -0.6 и $\mu_\sigma = 0.6$ — 1). Но следует отметить, что в работах (Сим и др., 2017в; Татаурова, 2015; Polets, 2019) эти значения также не столь многочисленны — несколько значений в районе Углегорска в работе (Татаурова, 2015) и

несколько значений в районе Александровск-Сахалинского и Поронайска в работе (Polets, 2019). Несмотря на крайне немногочисленные точки с коэффициентом Лоде-Надаи в этих работах для территории Центрального Сахалина, в них можно увидеть значения коэффициента близкое к нулю ($\mu_\sigma = -0.2$ — 0.2). В проведенной нами реконструкции это преобладание гораздо очевиднее. График на рис. 4 наглядно демонстрирует преобладание значений от -0.2 до 0.2 , то есть состояний, близких простому или чистому сдвигу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные полевые тектонофизические замеры позволили определить преимущественную ориентацию основных систем зеркал скольжения разной кинематики в трех зонах Центрального Сахалина. Методом катакластического анализа разрывных нарушений были реконструированы основные характерные типы напряженного состояния. Для Центрального Сахалина преимущественным типом напряженного состояния является горизонтальное растяжение. Реже встречается обстановки горизонтального сдвига и горизонтального растяжения в сочетании со сдвигом. В приосевой и восточной части Центрального Сахалина обстановки горизонтального растяжения и горизонтального сдвига в сочетании со сдвигом составляют около 3/4 от всех данных. В западной части острова возрастает роль обстановок горизонтального сжатия и сдвига. Полученные в результате исследования характеристики поля напряжений, позволяют сделать вывод о возрастании роли обстановки горизонтального растяжения по направлению к впадине Охотского моря. Это вполне соответствует характеру распространения нефтегазовых месторождений, формированию которых способствует подобное распределение напряжений (Сим и др., 2019). На примере проведенных ранее работ в других регионах, показано, что геодинамическая обстановка складчатых систем Сахалина имеет существенные отличия от внутриконтинентальных горных сооружений (Горный Алтай, Большой Кавказ), в которых ведущая роль принадлежит обстановкам горизонтального сжатия и сдвига.

Авторы признательны Ю.В. Кострову за продуктивные консультации по геологическому строению Сахалина и за помощь в проведении полевых работ.

Исследования проведены при финансовой поддержке Госзадания Института морской геологии и геофизики ДВО РАН и Госзадания Института физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта.

Список литературы [References]

- Воейкова О.А., Несмеянов С.А., Серебрякова Л.И.* Неотектоника и активные разрывы Сахалина. М.: Наука, 2007. 187 с. [*Voeikova O.A., Nesmeyanov S.A., Serebryakova L.I.* Neotectonics and active faults of Sakhalin. Moscow: Nauka, 2007. 187 p. (in Russian)].
- 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 [*Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Grannik V.M., Nechayuk A.E.* Deformation of the Upper Cretaceous and Cenozoic complexes of the West Sakhalin terrane // *Geotectonics*. 2012. V. 46. № 5. P. 333–351. <https://doi.org/10.1134/S0016852112050020>].
- Голозубов В.В., Касаткин С.А., Малиновский А.И. и др.* Дислокации меловых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2016. № 4. С. 105–120 [*Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Malinovsky A.I. et al.* Dislocations of the cretaceous and cenozoic complexes of the northern part of the West Sakhalin Terrane // *Geotectonics*. 2016. V. 50. P. 439–452. <https://doi.org/10.1134/S0016852116040038>].
- Гранник В.М.* Изверженные породы западно-сахалинского террейна острова Сахалин // ДАН. 2016. Т. 470. № 6. С. 688–691 [*Grannik V.M.* Igneous rocks of the West Sakhalin Terrane of Sakhalin Island // *Doklady Earth Sciences*. 2016. V. 470. P. 1019–1022. <https://doi.org/10.1134/S1028334X16100226>].
- Гранник В.М.* Изверженные породы Охотоморского коллизионного шва (о. Сахалин) // ДАН. 2014. Т. 455. № 2. С. 179–183 [*Grannik V.M.* Igneous rocks of the collisional suture of the Sea of Okhotsk (Sakhalin Island) // *Doklady Earth Sciences*. 2014. V. 455. № 2. P. 246–249. <https://doi.org/10.1134/S1028334X14030167>].
- Гранник В.М.* Изверженные породы Центрально-Сахалинского коллизионного шва (о. Сахалин) // ДАН. 2012. Т. 446. № 4. С. 423–426 [*Grannik V.M.* Igneous rocks of the Central Sakhalin collision juncture of Sakhalin Island // *Doklady Earth Sciences*. 2012. V. 446. № 4. P. 423–426 (in Russian)].
- Дубиня Н.В.* Обзор скважинных методов изучения напряженного состояния верхних слоев земной коры // Физика Земли. 2019. № 2. С. 137–155. <https://doi.org/10.31857/S0002-333720192137-155> [*Dubinya N.V.* An overview of wellbore methods of investigating stress state of the upper layers of the earth's crust // *Izvestiya. Physics of the solid Earth*. 2019. V. 55. № 2. P. 311–326. <https://doi.org/10.1134/S1069351319020034>].
- Жаров А.Э.* Аккреционные и коллизионные структуры Юго-Восточного Сахалина // ДАН. 2003. Т. 393. № 3. С. 366–370 [*Zharov A.E.* Accretion and collision structures of southeastern Sakhalin // *Doklady Earth Sciences*. 2003. V. 393. № 3. P. 366–370 (in Russian)].
- Маринин А.В., Тверитинова Т.Ю.* Строение Туапсинской сдвиговой зоны по тектонофизическим данным // Вестник Московского университета. Серия 4: геология. 2016. № 1. С. 41–55 [*Marinin A.V., Tveritinova T.Yu.* The structure of the Tuapse shear zone according to the field tectonophysical data // *Moscow University Geology Bulletin*. 2016. V. 71. № 2. P. 151–166 (in Russian)].
- Маринин А.В., Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А. и др.* Реконструкция тектонических напряжений на полуострове Шмидта (Сахалин) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2021. № 4. Вып. 52. С. 73–88. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2021-4-52-73-88> [*Marinin A.V., Rebetsky Yu.L., Sim L.A. et al.* Reconstruction of tectonic stresses on the Schmidt Peninsula (Sakhalin) // *Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center» Earth Sciences*. 2021. № 4 (52). P. 73–88 (in Russian)].
- Маринин А.В., Сим Л.А., Мануилова Е.А. и др.* Новейшее напряженное состояние Чуйско-Курайской впадины и прилегающих структур (юго-восточная часть Горного Алтая) // Наука и технологические разработки. 2022. Т. 101. № 3. С. 33–52. <https://doi.org/110.21455/std2022.3-4> [*Marinin A.V., Sim L.A., Manuilova E.A. et al.* The latest stress state of the Chuya-Kurai depression and adjacent structures (South-Eastern part of the Altai mountains) // *Science and technological developments*. 2022. V. 101. № 3. P. 33–52 (in Russian)].
- Мельников О.А.* Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 93 с. [*Melnikov O.A.* Structure and geodynamics of the Hokkaido-Sakhalin folded region. Moscow: Nauka, 1987. 93 p. (in Russian)].
- Объяснительная записка к Тектонической карте Охотоморского региона масштаба 1 : 2 500 000 / Отв. ред. Богданов Н.А., Хаин В.Е. М.: ИЛОВМ, 2000. 193 с. [Explanatory note to the Tectonic map of the Okhotsk Sea region scale 1:2500000. Ed. Bogdanov N.A., Khain V.E. Moscow: ILOVM, 2000. 193 p. (in Russian)].
- Полец А.Ю.* Поле современных тектонических напряжений Сахалинско-Японского сейсмического пояса // Геосистемы переходных зон. 2019. Т. 3, № 2. С. 189–200. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.2.189-200> [*Polets A.Yu.* Modern tectonic stress field of the Sakhalin-Japanese earthquake belt // *Geosystems of Transition Zones*. 2019. V. 3. N 2. P. 189–200 (in Russian)].
- Расцветаев Л.М.* Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: ГИН АН СССР, 1987. Ч. 2. С. 173–235 [*Rastsvetaev L.M.* Paragenetic method of structural analysis of disjunctive tectonic faults // *Problems of structural geology and physics of tectonic processes*. Moscow: GINANSSSR, 1987. V. 2. P. 173–235 (in Russian)].
- Ребецкий Ю.Л.* Развитие метода катакластического анализа сколов для оценки величин тектонических напряжений // Доклады Академии наук. 2003. Т. 3. № 2. С. 237–241 [*Rebetsky Yu.L.* Development of the Method of Cataclastic Analysis of Shear Fractures for Tectonic Stress // *Doklady Earth Sciences*. 2003. V. 388. № 1. P. 72–76].
- Ребецкий Ю.Л.* Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Академкнига, 2007. 406 с. [*Rebetskiy Yu.L.* Tectonic stresses and strength of natural massifs. Moscow: Akademkniga, 2007. 406 p. (in Russian)].

- Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В.* От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы. Москва: Издательство GEOS, 2017. 234 с. [*Rebetskiy Yu.L., Sim L.A., Marinin A.V.* From slickensides to tectonic stresses. Methods and algorithms. Moscow: GEOS, 2017. 234 p. (in Russian)].
- Рождественский В.С.* Активный рифтинг в Японском и Охотском морях и тектоническая эволюция Центрально-Сахалинского разлома в кайнозое // Тихоокеанская геология. 2008. № 1. С. 17–28 [*Rozhdestvenskiy V.* Active rifting in the Japan and Okhotsk Seas and the tectonic evolution of the Central Sakhalin Fault in the Cenozoic // Russian Journal of Pacific Geology. 2008. № 2. P. 15–24. <https://doi.org/10.1007/s11720-008-1002-z>].
- Сим Л.А., Богомолов Л.М., Брянцева Г.В., Саввичев П.А.* Неотектоника и тектонические напряжения острова Сахалин // Геодинамика и тектонофизика. 2017а. Т. 8. № 1. С. 181–202. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0237> [*Sim L.A., Bogomolov L.M., Bryantseva G.V., Savvichev P.A.* Neotectonics and tectonic stresses of the Sakhalin Island // Geodynamics & Tectonophysics. 2017а. V. 8. № 1. P. 181–202 (in Russian)].
- Сим Л.А., Богомолов Л.М., Кучай О.А., Татаурова А.А.* Неотектонические и современные напряжения Южного Сахалина // Тихоокеанская геология. 2017б. Т. 36. № 3. С. 88–101 [*Sim L.A., Bogomolov L.M., Kuchai O.A., Tataurova A.A.* Neotectonic and modern stresses of South Sakhalin // Russian Journal of Pacific Geology. 2017b. V. 11. № 3. P. 223–235. <https://doi.org/10.1134/S1819714017030058>].
- Сим Л.А., Брянцева Г.В., Саввичев П.А., Каменев П.А.* Особенности переходной зоны между Евразийской и Северо-Американской литосферными плитами (на примере напряженного состояния о-ва Сахалин) // Геосистемы переходных зон. 2017в. Т. 1. № 1. С. 3–22. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2017.1.1.003-022> [*Sim L.A., Bryantseva G.V., Savvichev P.A., Kamenev P.A.* Patterns of transition zone between Eurasian and North American plates (by example of stressed state of the Sakhalin Island) // Geosystems of Transition Zones, 2017с. V. 1. № 1. P. 3–22 (in Russian)].
- Сим Л.А., Сабиров И.А., Гордеев Н.А.* Новейшее напряженное состояние Мангышлака и возможное его влияние на распределение месторождений углеводородов // Экспозиция Нефть Газ. 2019. Т. 71. № 4 С. 22–27 [*Sim L.A., Sabirov I.A., Gordeev N.A.* The latest stress state of Mangyshlak and its possible impact on the distribution of hydrocarbon deposits // Exposition Oil & Gas/ 2019. V. 71. № 4 P. 22–27].
- Татаурова А.А.* Поля напряжений и деформаций по данным механизмов коровых землетрясений о. Сахалин // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2015. № 3. Вып. 27. С. 92–101 [*Tataurova A.A.* Stress and strain fields based on data on crustal earthquake mechanisms in Sakhalin Island. Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center» Earth Sciences. 2015. № 3(27). P. 92–101 (in Russian)].
- Харахинов В.В.* Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Научный мир, 2010. 275 с. [*Kharakhinov V.V.* Oil and gas geology of the sakhalin region. Moscow: Scientific world, 2010. 275 p. (in Russian)].
- Харахинов В.В., Гальцев-Безюк С.Д., Терещенков А.А.* Разломы Сахалина // Тихоокеанская геология. 1984. № 2. С. 77–86 [*Kharakhinov V.V., Galtsev-Bezyuk S.D., Tereshenkov A.A.* Sakhalin faults // Russian Journal of Pacific Geology. 1984. № 2. P. 77–86 (in Russian)].
- Brudy M., Zoback M.D., Fuchs K. et al.* Estimation of the complete stress tensor to 8 km depth in the KTB scientific drill holes: Implication for crustal strength granites // Journal of Geophysical Research. 1997. V. 102. P. 18453–18475.
- Bogomolov L.M., Sim L.A., Kamenev P.A.* Neotectonics and Stressed State Patterns of the Sakhalin Island // Intech Open. Engineering Geology. 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93522>
- Dubinya N.V., Ezhov K.A.* In-situ Horizontal Stress Estimation Based on the Geometrical Properties of Fractures in Well Vicinity // Geophysical Research. 2017. V. 18. № 2. P. 5–26. <https://doi.org/10.21455/gr2017.2-1>
- Egorov A.S., Bolshakova N.V., Kalinin D.F., Ageev A.S.* Deep structure, tectonics and geodynamics of the Sea of Okhotsk region and structures of its folded frame // Journal of Mining Institute. 2022. V. 257. P. 1–17. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.63>
- Heidbach O., Rajabi M., Cui X. et al.* The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. Tectonophysics. 2018. V. 744. P. 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>
- Kozhurin A.* Active faults in Sakhalin and North of the Sea of Okhotsk: Does the Okhotsk plate really exist? // Journal of Asian Earth Sciences. 2022. V. 230. № 35. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2022.105219>
- Polets A.Yu.* The stress state of the Sakhalin Island and adjacent territories // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 324. № 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/324/1/012010>
- Zoback M.D.* Reservoir Geomechanics. Cambridge: Cambridge University Press. 2007. 505 p.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ
RECONSTRUCTION OF TECTONIC STRESSES IN CENTRAL SAKHALIN

P.A. Kamenev¹, A.V. Marinin², V.A. Degtyarev¹, A.R. Lukmanov^{1,2}

¹*Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

²*Schmidt Institute of Earth Physics, RAS, Moscow, Russia*

Received November 10, 2022; revised February 15, 2022; accepted March 30, 2023

The article presents the reconstruction of the tectonic stress field of the central part Sakhalin Island, obtained as a result of field tectonophysical studies in 2020–2022. The measurements made it possible to determine the predominant orientation of the main slickensides systems with different kinematics. The territory of Central Sakhalin is characterized by mainly subvertical orientation of the axis of maximum compression, as well as the subhorizontal and predominantly submeridionally directed axis of minimum compression (extension). The main revealed feature of Central Sakhalin is the predominance of horizontal extension as a type of stress state for the entire area. In its western part, horizontal shear and horizontal compression are significant. The number of horizontal extension conditions increases in the near-axial and eastern part of Central Sakhalin, closer to the Sea of Okhotsk. We found the cardinal difference between the obtained results of the stress field reconstruction and the results of similar studies in other geodynamically active regions of the country.

Keywords: tectonic stresses, deformations, slickensides, Sakhalin Island.