# Л. А. Сим<sup>1</sup>, А. В. Маринин<sup>1</sup>, Г. В. Брянцева<sup>2</sup>, Н. А. Гордеев<sup>1</sup>, И. В. Бондарь<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О. Ю.Шмидта РАН, Москва, sim@ifz.ru <sup>2</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова, геологический факультет

# ОСОБЕННОСТИ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ГЛОБАЛЬНЫМ ТЕКТОГЕНЕЗОМ

### Аннотация

Комплексом тектонофизических методов восстановлены тектонические напряжения Северной Евразии. На всех платформах исследованной части Евразии установлены сдвиговые неотектонические напряжения. На Западно-Европейской молодой плите, восточной части Балтийского щита восстановлен западный тип напряженного состояния с субширотной-ЗСЗ ориентацией оси сжатия. Восточный тип с субмеридиональной ориентацией оси сжатия и субширотной — оси растяжения характерен практически для всех остальных платформ, а также для орогенных структур Кавказа, Северного Тянь-Шаня, Чукотки. На севере Евразии западный и восточный типы сдвигового напряженного состояния обусловлены влиянием процессов спрединга в Северной Атлантике и Арктике. Границы между этими типами напряженно-деформированного состояния на Русской плите выделены как зоны неустойчивых тектонических напряжений, где они являются барьерами для распространения сейсмичности. Рифтогенез в Арктике не влияет на распределение тектонических напряжений на северо-востоке Сибирской платформы. Орогенные процессы в структурах обрамления Северной Евразии отражаются на распределении тектонических напряжений на соседних платформах. Выделены внутриплатформенные источники остаточных гравитационных тектонических напряжений (Хибинский и Ковдорский массивы на Балтийском щите, Кожимская кольцевая структура на Приполярном Урале, Оленекский и Мунский массивы на Сибирской платформе). На Сахалине неотектоническое напряженно-деформированное состояние с субширотным сжатием и субмеридиональным растяжением целиком обусловлено движением Охотоморской и Амурской микроплит.

# L. A. Sim<sup>1</sup>, A. V. Marinin<sup>1</sup>, G. V. Bryanceva<sup>2</sup>, N. A. Gordeev<sup>1</sup>, I. V. Bondar'<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Schmidt' Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, sim@ifz.ru <sup>2</sup>Moscow State University M.V. Lomonosov, geological faculty

# FEATURES OF NEOTECTONIC STRESSES OF NORTHERN EURASIA AND THEIR INTERRELATION WITH GLOBAL TECTOGENESIS

#### Abstract

Tectonic stresses of Northern Eurasia were reconstructed by a complex of tectonophysical methods. Shear neotectonic stresses were established on all platforms of the studied part of Eurasia. On the Western European young plate, the Eastern part of the Baltic shield, the Western type of stress state with a sub-latitude-WNW orientation of the compression axis was restored. The Eastern type with a submeridional orientation of the compression axis and a sub-latitude-stretching axis is typical for almost all other platforms, as well as for the orogenic structures of the Caucasus, Northern Tien Shan, Chukotka. In the North of Eurasia, the Western and Eastern types of shear stress state are due to the influence of spreading processes in the North Atlantic and Arctic. The boundaries between these types of stress-strain state on the Russian plate are identified as zones of unstable tectonic stresses, where they are barriers to the propagation of seismicity. Rifting in the Arctic does not affect the distribution of tectonic stresses in the North-East of the Siberian platform. Orogenic processes in the framing structures of Northern Eurasia are reflected in the distribution of tectonic stresses on neighboring platforms. Intra-platform sources of residual gravitational tectonic stresses (Khibiny and Kovdor massifs on the Baltic shield, Kozhimskaya ring structure on the circumpolar Urals, Oleneksky and Munsky massifs on the Siberian platform) are identified. On Sakhalin, the neotectonic stress-strain state with sub-latitude compression and submeridional stretching is entirely due to the movement of Okhotsk and Amur microplates.

## Введение

В работе представлено обобщение многолетних исследований напряженно-деформированного состояния верхних частей литосферы Евразии. Преобладающую часть Северной Евразии составляют платформенные структуры, которые представляют собой «белое пятно» на картах напряженного состояния.

Целью исследования являлось составление схемы неотектонических напряжений Северной Евразии для определения влияния глобального тектогенеза на развитие платформенных структур. Тектонические напряжения восстанавливались комплексом тектонофизических методов с активным

использованием структурных методов изучения разломной тектоники и трещиноватости — наиболее однозначными индикаторами тектонических напряжений, картированием мелких структурных форм, помогающих восстанавливать локальные стресс-состояния в массивах горных пород (разновозрастные жилы с различными минеральными заполнителями, стилолитовые швы, элементы складок и т.д.). В статье кратко приведены результаты реконструкции тектонических напряжений на платформах с разновозрастным фундаментом: Западно-Европейской, Восточно-Европейской, Тимано-Печорской, Скифско-Туранской, Западно-Сибирской и Сибирской. Кроме этого, обобщены данные реконструкций тектонических напряжений в структурах обрамления платформ: На Карпатах, Кавказе, Пай-Хое, Полярном-Северном Урале, Северном Тянь-Шане, Чукотке, Сахалине и Стрельцовской кальдере вулкано-плутонической структуре с богатыми урановыми месторождениями. В результате исследований на фактическом материале подтверждено влияние процессов спрединга в Северной Атлантике и Арктике на формирование новейших структур в прилегающих к зонам рифтогенеза континентальных частях платформ; установлена граница влияния процессов в Атлантике и в Арктике на Восточно-Европейскую платформу, которая контролирует распределение сейсмичности на Русской плите. Установлено, что спрединг в Арктике ответственен за формирование молодых структур Пай-Хоя и Приполярного Урала, а также северной половины Западно-Сибирской плиты. При этом влияние Арктического спрединга на северо-восточную окраину Сибирской платформы установить не удалось. По всей вероятности, это связано с близостью полюса вращения между Евразийской и Северо-Американской плитами к району вхождения зоны спрединга в континент. Уточнена граница между Охотской и Амурской микроплитами на Сахалине; установлены источники горизонтального сжатия, обусловленные разрядкой остаточных гравитационных напряжений при длительном воздымании структур, сопровождавшихся эрозией и денудацией.

# Краткий очерк об изученности тектонических напряжений Северной Евразии по геологическим данным

Обширность территории исследования и объем статьи и не позволяют более детально рассмотреть вопросы вклада различных авторов, производивших тектонофизические исследования в пределах Северной Евразии, поэтому мы ограничимся лишь кратким перечнем наиболее крупных работ в этом регионе. Начало исследований полевыми методами тектонических напряжений было положено М.В. Гзовским, предложившим метод выделения сколовых сопряженных трещин [Гзовский, 1954, 1975]. Далее тектонофизические исследования на территории запада Верхояно-Чукотской складчатой области были осуществлены Г.С. Гусевым (1979); на Кавказе в течение многих лет тектонические исследования проводились Л.М. Расцветаевым, а также его учениками Т.Ю. Тверитиновой, А.В. Марининым и др. (1982 — настоящее время). Территория Донбасса активно изучалась В.А. Корчемагиным и его последователями (1984-2008). Изучение тектонических напряжений Байкальской рифтовой зоны и Монголии успешно проводилось С.И. Шерманом и Ю.И. Днепровским (1989) и продолжается сотрудниками ИЗК СО РАН К.Ж. Семинским, В.А. Саньковым, А.С. Гладковым, О.В. Луниной и др. (1986 — настоящее время). Разноранговые тектонические напряжения Кавказа и Ирана были исследованы П.Н. Николаевым (1977–1992), в Узбекистане — Р.А. Умурзаковым (2008). На территорию Украинского щита, Крыма тектонические напряжения геологическими методами восстановлены О.Б. Гинтовым и А.В. Муровской, В.В. Гончаром (1988 — настоящее время). Фрактографическим методом реконструкции палеонапряжений [Bankwitz, Bankwitz, 1984] авторами производилось изучение ряда структур в Западной Европе, а по методике, разработанной Ж. Анжелье [Angelier J. et al., 1994; Saintot A., Angelier J., 2002 и др.] тектонические напряжения восстановлены в числе многих регионов мира, в том числе и в пределах юга Европейской части России. М.Л. Коппом с коллегами полевыми методами изучено напряженное состояние Русской плиты (2014 — настоящее время). С 1979 г. Л.А. Сим было начато планомерное изучение тектонических напряжений на севере Восточно-Европейской платформы, Тимано-Печорской плиты, включая выходы байкалид в фундаменте указанной плиты на Среднем и Северном Тимане, в северных частях Урала, на Сахалине (1979–2018).

### Методы исследования

Тектонофизические исследования на севере Евразии проводились комплексом как полевых, так и камеральных методов. Обоснование методов и особенности их применения, преимущества и ограничения изложены в работе [Ребецкий, Сим, Маринин, 2017]. Доминирующим по площади являлся структурно-геоморфологический (СГ) метод реконструкции сдвиговых тектонических

напряжений платформ [Сим, 2000]. Технология метода заключается в дешифрировании по топоснове или космическим снимкам мелких прямолинейных элементов в зоне динамического влияния разломов (или линеаментов), которые выражены в рельефе в виде зон повышенной трещиноватости над разломом фундамента со смещениями по простиранию. В обосновании СГ метода лежат данные о развитии оперяющих разрывов в зоне динамического влияния горизонтальных сдвигов, обобщенные М.В. Гзовским [Гзовский, 1975] в виде закономерно ориентированных между собой триады разрывов: две системы сколов и отрывы. Если взаимная ориентировка мегатрещин между собой и по отношению к разлому(линеаменту) соответствует одному из вариантов ориентации оперяющих разрывов по отношению к разлому на палетке Гзовского, то решаются следующие задачи: 1) восстанавливается ориентировка осей максимального девиаторного сжатия и растяжения (далее сжатия и растяжения), действующие в горизонтальной плоскости; 2) определяется знак сдвигового смещения (правый или левый); 3) определяется дополнительная геодинамическая обстановка формирования сдвига дополнительное сжатие или растяжение. Кинематический метод [Гущенко, 1979] и катакластический метод [Ребецкий и др., 2017] основаны на анализе закономерно ориентированных векторов перемещений на зеркалах скольжения, измеренных in situ. Оба метода полевые, позволяют определять локальные стресс-состояния (ЛСС) в пределах отдельно взятых объемов горных пород путем анализа закономерностей ориентировок векторов перемещений. Методы дают возможность определять ориентации осей главных нормальных напряжений ( $\sigma_1$  — ось минимальных,  $\sigma_3$  — максимальных и  $\sigma_2$  — промежуточных сжимающих напряжений, ориентировки плоскостей действия максимальных касательных напряжений т<sub>max1</sub>, вектора перемещений по ним — весьма важный параметр для использования тектонофизических данных при проектировании крупных гражданских сооружений, оценке устойчивости горных выработок и т.д. В отдельных случаях применялся метод выделения сколовых сопряженных трещин [Гзовский, 1975], структурно-парагенетический метод [Расцветаев, 1987], метод нахождения параметров «общего поля» напряжений (ОПН) по данным о ЛСС в отдельных крупных блоках земной коры [Ребецкий, Сим, Маринин, 2017], метод поясного распределения трещиноватости в зонах разломов [Данилович, 1961]. Неотектонические и структурно-геоморфологические схемы составлены с использованием методики, разработанной Н.П. Костенко [Костенко, Брянцева, 2002].

Ниже будет рассмотрен подробнее метод определения «блоковых и общих полей» напряжений по крупным участкам (размером до  $10 \times 10 \text{ km}^2$ ) на примере Приполярного Урала (рис. 1) [Сим, 2000]. Приведенный пример характеризует возраст восстановленных ЛСС кинематическим методом на Приполярном Урале: гнезда горного хрусталя образовались на завершающей фазе герцинского тектогенеза (около 260 млн лет назад). На стереограмме «А» показаны полюса кварцевых жил, внедрение которых было в несколько этапов. К последней фазе образования жил приурочено формирование гнезд горного хрусталя. Их полюса попадают в конус растяжения, который был восстановлен по данным об ориентации осей растяжения в ЛСС, реконструированных по бороздам скольжения в пределах Омега-Шорского блока. Такая приуроченность осей растяжения ЛСС и полюсов кварцевых жил с гнездами горного хрусталя свидетельствует о молодом возрасте полей напряжений — позднегерцинских структур на неотектоническом этапе. Разница между этими этапами заключается в том, что в герцинскую фазу тектогенеза доминировали складчатые деформации, а на неотектоническом этапе происходили глыбово-блоковые движения с унаследованным развитием положительных и отрицательных герцинских структур.

### Тектонические напряжения платформ Северной Евразии

С запада на восток в пределах Северной Евразии тектонические напряжения восстановлены на Западно-Европейской плите (ЗЕП) на палеозойском фундаменте, Восточно-Европейской платформе (ВЕП) как на Русской плите, так и на восточной части Балтийского (Фенноскандинавского) щита, на Украинском щите, Тимано-Печорской плите (ТПП) с эпибайкальским фундаментом и на выступающем на дневной поверхности основания — байкалид на Среднем Тимане и п-ове Канин, на Западно-Сибирской и Туранской молодых плитах с палеозойским гетерогенным складчатым фундаментом и отдельных частях Сибирской платформы с архей-протерозойским фундаментом.

Западно-Европейская платформа. Неотектонические сдвиговые напряжения восстановлены СГ методом в пределах Северо-Германской депрессии (рис. 2) и восточной части структуры на территории Польши [Сим, Маринин и др., 2018].



Рис. 1. Слева: Блоки земной коры Приполярного Урала, для которых определены общие поля тектонических напряжений. Оранжевый — Западно-Саледский (без гнезд горного хрусталя); синие: на востоке — Пелингичейский, на юге — Омеге-Шорский блоки с основной концентрацией месторождений горного хрусталя. Справа: ОПН отдельных блоков Приполярного Урала. А, Б — Омега-Шорский блок, В — Пелингичейский блок, по: [Сим, Юрченко, Сироткина, 2005]. 1 — оси сжатия (а), растяжения (б) и промежуточная (в) и плоскости их действия т<sub>тах</sub>; 2 — оси ЛСС: а — сжатия, б — растяжения; 3 — плоскости действия максимальных касательных напряжений: а — полюс, б-г — простирания и их кинематические типы: б — сбросы, в — взбросы, г — сдвиги; 4 — полюса плоскостей кварцевых жил: а — с гнездами, б — без гнезд горного хрусталя; 5 — изолинии плотности осей сжатия ЛСС

**Fig. 1.** On the left: Blocks of the earth's crust of the circumpolar Urals, for which the General fields of tectonic stresses are determined. Orange — West Saled (without nests of rock crystal); blue: in the East – Pelingichejskij, in the South — Omege-SHorskij blocks with the main concentration of deposits of rock crystal. On the right: The General stress field of individual blocks of the circumpolar Urals. A, B — Omege-SHorskij block, B — Pelingichejskij unit, by [Сим, Юрченко, Сироткина, 2005]. 1 — axis compression (a) stretching ( $\delta$ ) and intermediate (e) and the plane of their actions  $\tau_{max}$ ; 2 — axis JICC: a — compression  $\delta$  — tension; 3 — the plane of the maximum shear stresses: a — pole,  $\delta$ -e — stretch and kinematic types:  $\delta$  — vents, e — reverse faults, e — shifts; 4 — pole planes of quartz veins: a — with sockets,  $\delta$  — without nests rhinestone; 5 — isolines of density of the compression axes of the JICC

На рис. 2 разломы I ранга активизируются в новейшем поле напряжений с 3С3-субширотной ориентацией оси сжатия. При этом на восточной части ЗЕП (территория Польши) также восстановлены 3С3-широтные ориентировки осей сжатия и меридиональные — растяжения, которые подтверждаются откартированными С. Остафичуком [Ostaficzuk, 1995] депрессиями и эскарпами, расположенными нормально по отношению к оси растяжения восстановленного поля напряжений. На территории Польши региональные тектонические напряжения так же, как в западной части ЗЕП, ориентированы в 3С3-субширотном направлении, несмотря на наличие линии ТТ, разграничивающей ЗЕП и ВЕП на разновозрастном фундаменте [Сим, Маринин и др., 2018].

Восточно-Европейская платформа (ВЕП). Ha территории BEΠ реконструкция неотектонических напряжений производилась комплексом методов, главным из которых являлся СГ метод на Русской плите и на Балтийском и Украинском щитах. Кроме этого, на Балтийском щите значительные по размерам участки были исследованы полевыми кинематическим и катакластическим методами. Субширотные ориентации осей сжатия, характерные для ЗЕП, сохранили свои характеристики на самой западной окраине Русской плиты до западного склона палеозойской Белорусской антеклизы. Этот тип ориентировок осей сжатия выделен нами как западный. Такие же сдвиговые ориентировки осей сжатия и растяжения были восстановлены как кинематическим, так и СГ методами на исследованной части Балтийского щита. В частности, региональное поле напряжений в районе планировавшегося строительства Карельской АЭС и «общее поле» напряжений Ковдорского массива показали полную идентичность ориентировок субгоризонтальных осей сжатия простирания (ЗСЗ) и меридиональных осей растяжения. На остальной территории Русской плиты восстановлены субмеридиональные ориентации осей сжатия и субширотные — осей растяжения. Этот тип ориентировок тектонических напряжений выделен как восточный.



**Рис. 2.** Неотектонические напряжения Западно-Европейской плиты [Sim, 2001]: *l* — границы: *a* — Северо-Германской зоны опусканий; *b* — депрессии Хессе и блока Гарц, *c* — Гамбургского трога и Одерской депрессии (по: [Garetsky et al., 1999]; *2* — разломы: *a* — выделенные по геологическим данным, *б* — по дешифрированию космических снимков и топографической основы; *3* — кинематические типы разломов: *a* — сбросы, *б* — сдвиги; *3* — кинематические типы разломов: *a* — сбросы, *б* — сдвиги; *4* — ориентировки осей сжатия: *a* — I, *б* — II рангов; *5* — геодинамические обстановки формирования сдвигов: *a* — дополнительного сжатия, *б* — дополнительного растяжения

Fig. 2. Neotectonic stresses of the Western European plate [Sim, 2001]:

*I* — Boundaries: *a* — the North German zone of depressions, *b* — the Hesse depression and the Harz block, *c* — the Hamburg trog and Oder depression (by: [Garetsky et al., 1999]; *2* — Faults: *a* — allocated by geological data, *b* — by decoding satellite images and topographic basis; *3* — kinematic types of faults: *a* — discharges, *b* — strike-slip faults; *3* — kinematic types of faults: *a* — discharges, *b* — strike-slip faults; *b* — II grades; *5* — Geodynamic conditions of shear formation: *a* — additional compression, *b* — additional stretching

На самом юго-западе ВЕП были восстановлены неупорядоченные ориентировки осей сжатия, менявших свои простирания от ССВ между Карпатами и Украинским щитом на ВСВ восточнее Украинского щита; далее на юг ориентировки осей сжатия становятся более упорядоченными и соответствуют ориентировке осей сжатия, восстановленных СГ методом на Кавказе (рис. 3). [Sim et al., 1999; Сим, 2000].

ССВ горизонтальные ориентировки осей сжатия, вероятнее всего, отражают влияние орогенеза Карпат на прилежащую платформенную территорию. Далее оси сжатия, неупорядоченные по ориентировкам на северо-востоке, могут иметь две причины: либо это зона «столкновения» устойчивых тектонических напряжений западного и восточного типов в сочетании с действием Карпатского орогенеза на ВЕП, либо (предположительно) методические ограничения, так как СГ метод практически неприменим на щитах из-за выраженности разновозрастных мелких прямолинейных элементов рельефа в древних породах, не дающих однозначных решений [Сим, 2000]. В любом случае здесь была проведена 2-я граница неустойчивых тектонических напряжений на территории ВЕП — ее южная ветвь (рис. 4).

Установленные границы изменения типов ориентировок главных нормальных напряжений на территории ВЕП нашли свое подтверждение в виде границ распространения сейсмичности на этой территории: западная ветвь ограничивает очаги сейсмичности, связанные с процессами рифтогенеза в Северной Атлантике, южная ветвь служит барьером для распространения сейсмичности, вызванной орогенезом в Карпатах и Кавказе (см. рис. 4). На побережье Балтийского моря была выделена область неустойчивых тектонических напряжений, характеризующаяся одновременным сосуществованием субгоризонтальных как меридиональных, так и широтных ориентировок осей сжатия, которые были определены СГ методом вдоль главных неотектонических разломов побережья Прибалтики [Сим, 2000]. В этой области до 2000 г. был определен единственный сдвиговый механизм очага Осмуссаарского землетрясения с субширотным сжатием и меридиональным растяжением. Калининградские землетрясения 2004 г., механизмы которых показали современные сдвиговые тектонических напряжений с меняющимися ориентировками осей сжатия от широтного до меридионального в выделенной зоне. Так, в Калининградских землетрясениях определены меридиональные ориентировки осей сжатия и широтные — осей растяжения (под 90° к осям сжатия и растяжения Осмуссаарского землетрясения).





**Рис. 3.** Южный фрагмент поля тектонических напряжений ВЕП и структур обрамления [Sim et al., 1999]. Фиксируются неупорядоченные ориентировки осей сжатия на Украинском щите и его северном обрамлении

**Fig. 3.** The southern fragment of the the East-European platform tectonic stress field and framing structures [Sim et al., 1999]. The disordered orientations of compression axes on the Ukrainian shield and its Northern frame are fixed

На схеме районирования тектонических напряжений ВЕП и структур обрамления (рис. 4) ранее в область неустойчивых тектонических напряжении была включена часть Балтийского щита на северном побережье Финского залива. Такое отнесение этого участка без результатов тектонофизических исследований было произведено по аналогии с южным побережьем залива.

В зоне Вуоксинского разлома были проведены полевые тектонофизические исследования, которые не дали возможности однозначного определения ОПН в этой части Балтийского щита [Маринин, Сим, Бондарь, 2019] (рис. 5). Оказалось, что локальные стресс-состояния (ЛСС) в зоне неустойчивых неотектонических напряжений, выделенных в 2000 г., подтверждаются и на прилегающей к Балтийскому морю с севера зоне в пределах Балтийского щита.

Скифско-Туранская молодые плиты. В район исследования входят центральная часть Скифской и западная часть Туранской платформенных структур, объединенных в единую Скифско-Туранскую плиту на эпигерцинском основании [Хаин, Лимонов, 2004]. Неотектонические напряжения Скифской плиты, отраженные на рис. 3, являются результатом применения СГ метода в масштабе 1:1 000 000 [Sim et al, 1999]. Более детальное изучение разломной тектоники и неотектонических напряжений СГ методом в масштабе 1:200 000 проведено на Скифской плите в 2017–2018 гг. в связи с решением задач прогноза нефтегазоносных месторождений [Сим и др., 2019<sub>1</sub>]. Подавляющее

большинство осей сжатия I ранга ориентировано меридионально с разворотом части осей в ССВ направлении. Определения тектонических напряжений с помощью СГ метода при дешифрировании разломов на разномасштабных топографических картах и космических снимках показало идентичные результаты, которые отражают влияние орогенеза на Кавказе на пограничные платформенные территории.



**Рис. 4.** *Слева:* Схема районирования тектонических напряжений ВЕП и структур обрамления, по [Сим, 2000]: *1* — крупнейшие разломы; *2–4* — границы: *2* — структур ВЕП I ранга, *3* — орогенных структур обрамления ВЕП, *4* — областей с разными ориентировками осей сжатия и растяжения — зоны неустойчивых тектонических напряжений; *5–8* — области с разными типами тектонических напряжений: *5* — западного, *6* — восточного типа, *7* — с неупорядоченными ориентировками осей сжатия и растяжения, *8* — с неустойчивым типом с одновременным существованием как меридиональных, так и широтных осей сжатия. Справа: зоны неустойчивых тектонических напряжений как границы распространения сейсмичности на территории ВЕП, по [Сим, Алексеев, 2018]

Fig. 4. On the left: The scheme of zoning of tectonic stresses of the East-European platform and framing structures, by [Сим, 2000]:

I — the largest faults. 2–4 — Boundaries: 2 — the East-European platform structures of I rank; 3 — orogenic structures of the East-European platform framing; 4 — areas with different orientations of compression and tension axes — zones of unstable tectonic stresses. 5–8 — Areas with different types of tectonic stress types: 5 — Western, 6 — Eastern type, 7 — with disordered orientations of compression and tension axes, 8 — with unstable type with simultaneous existence of both meridional and latitudinal compression axes. On the Right: zones of unstable tectonic stresses as boundaries of seismicity propagation in the territory of the the East-European platform, by [Сим, Алексеев, 2018]

На западе *Туранской плиты* (п-ов Мангышлак) выделены неотектонические разломы и составлена схема новейшей геодинамики. Анализ схемы показывает, что исследуемый район деформируется в неотектонический и современный этапы в геодинамической обстановке чистого сдвига (трехосном напряженном состоянии). В субгоризонтальной плоскости ось сжатия ориентирована субмеридионально, а ось растяжения — субширотно. Район исследований находится западнее зоны сочленения палеозойских и раннемезозойских складчатых сооружений Урала,

Мангышлака, Тянь-Шаня и Центрального Казахстана, скрытой под покровом молодых платформенных осадков. Несмотря на сложное и разновозрастное строение фундамента, в этой части Туранской плиты СГ методом уверенно определяются субмеридиональные ориентации осей сжатия, которые формируют разломы северо-западного простирания как правые, а северо-восточного — как левые сдвиги (рис. 7).



Рис. 5. Карта территории исследований в районе Вуоксинского разлома с результатами реконструкции тектонических напряжений. Составлена с учетом данных [Геология..., 1971; Государственная..., 1999]: 1 — метаморфические комплексы верхнего протерозоя; 2 — плутоно-метаморфические комплексы верхнего протерозоя (мигматит-граниты); 3 — интрузивные породы нижнего рифея (граниты-рапакиви); 4 — интрузивные породы верхнего протерозоя (габбро, габбродиориты, реже граниты); 5 — интрузивные породы верхнего протерозоя (габбро, монцогаббро, диориты, монцониты, сиениты, граниты); 6 — геологические границы; 7 — зона Вуоксинской разломной зоны; точки наблюдения (красный круг); 8 — диаграммы положения главных осей напряжения (стереографическая проекция на верхнюю полусферу); 9 — ось максимального сжатия; 10 — ось максимального растяжения; 11 — промежуточная ось; полюс плоскости зеркала скольжения, стрелкой показано направление смещения висячего блока. В правом верхнем углу: фрагмент схемы районирования тектонических напряжений ВЕП (из рис. 4). Области с разными типами тектонических напряжений: А — западного, Б — восточного типа; В — с неустойчивым типом с одновременным существованием как меридиональных, так и широтных осей сжатия

Fig. 5. Map of the research area of the Vuoksi fault with the results of reconstruction of tectonic stresses. Compiled with data [Геология..., 1971; Государственная..., 1999]:

1 -metamorphic complexes of the upper Proterozoic; 2 -Pluton-metamorphic complexes of the upper Proterozoic (migmatite-granite); 3 -Intrusive rocks of the lower Riphean (granites-rapakivi); 4 -Intrusive rocks of the upper Proterozoic (gabbro, gabbrodiorite, less frequently granites); 5 -Intrusive rocks of the upper Proterozoic (gabbro, metagabbro, diorites, monzonite, syenites, granites); 6 -geological boundaries; 7 -area Vuoksi fault zone; observation point (red circle); 8 -stereoplots (upper hemisphere) the positions of the principal stress axes; 9 -maximum compression; 10 -maximum tension; 11 - intermediate; the pole of the plane of the slickensides, the arrow shows the direction of displacement of the top wall. *In the upper right corner*: a fragment of the scheme of zoning of tectonic stresses of the East-European platform (from Fig. 4). Areas with different types of tectonic stresses: A - Western, 5 -Eastern type; B - unstable type with simultaneous existence of both meridional and latitudinal axes of compression



**Рис. 6.** Неотектонические напряжения центральной части Скифской плиты [Сим, Рахматуллина, Маринин, 2019]: *l* — разломы: *a* — I, *б* — II рангов; *2–3* — ориентировки осей сжатия: *2* — I ранга, *3* — II ранга; *4* — сдвиги: *a* — левые, *б* — правые; *5* — геодинамические обстановки формирования сдвигов: *a* — дополнительного сжатия, *б* — дополнительного растяжения

**Fig. 6.** Neotectonic stresses of the Central part of the Scythian plate [Сим, Рахматуллина, Маринин, 2019]: I =Faults: a =I, b =II ranks; 2-3 =orientation of compression axes: 2 =I, 3 =II ranks; 4 =strike-slip faults: a =left, b =right; 5 =geodynamic conditions of formation of strike-slip faults: a = additional compression, b =additional stretching



**Рис. 7.** *Слева:* Тектонические напряжения 1-го ранга, по [Николаев, 1992]: I–II — траектории осей главных нормальных напряжений: I — растяжения, II — сжатия; III — контуры крупнейших структур; IV–V — исследованные части: IV — Скифской, V — Туранской плит. *Справа:* Схема новейшей геодинамики запада Туранской плиты (по: [Сим, Сабиров, Гордеев, 2019<sub>2</sub>]. *1–4* — разломы, отдешифрированные по космическому снимку и топоснове: *1* — I ранга, *2* — II ранга, *3* — предполагаемые I и *4* — II рангов; *5–6* — ориентации осей сжатия в горизонтальной плоскости: *5* — I ранга, *6* — II ранга; *7–8* сдвиги: *7* — уверенные, *8* — предполагаемые; *9–10* — геодинамические обстановки: *9* — сжатия, *10* растяжения; *11–12* — локальные обстановки в секторах: *11* — сжатия, *12* — растяжения

Fig. 7. On the left: Tectonic stresses of the 1 rank, by [Николаев, 1992]:

I-II — Trajectories of axes of the main normal stresses: I — stretching, II — compression; III — contours of the largest structures; IV–V — studied parts: IV — Scythian, V — Turanian plates. On the right: the Scheme of the latest geodynamics of the West of the Turan plate (by [Сим, Сабиров, Гордеев, 2019<sub>2</sub>]. 1-4 — Faults, interpret from the space image and topography: 1 - I, 2 - II ranks, 3 — assumed I and 4 — II ranks; 5-6 — orientations of compression axes in the horizontal plane: 5 - I and 6 - II ranks; 7-8 — strike-slip faults: 7 — confident, 8 — expected; 9-10 — geodynamic conditions: 9 — compression, 10 — stretching; 11-12 — local conditions in sectors: 11 — compression, 12 — stretching

Западно-Сибирская плита (ЗСП). Для всего севера указанной плиты до широты 64° (до средней широтной части долины р. Оби) в масштабе 1:1 000 000 неотектонические напряжения восстановлены СГ методом. Кроме этого, была проведена реконструкция неотектонических напряжений в масштабах 1:100 000 и 1:50 000 для отдельных месторождений нефти и газа (Большой Салым, Северо-Комсомольское, Русское, Ай-Пим, Северо-Демьянское, Кальчинское и др.) (рис. 8). На всех указанных месторождениях (кроме Большого Салыма) восстановлены субмеридиональные ориентировки осей сжатия и субширотные — осей растяжения. Тектонические напряжения на Западно-Сибирской плите свидетельствуют о выдержанных ориентациях осей сжатия в субмеридиональном направлении. Данные интерпретаций результатов сейсмики 3D (трехмерное сейсмическое профилирование), показывающих горизонтальные сдвиги в структурах севера Западной Сибири [Гогоненков и др., 2007], подтверждают наши результаты.

Субмеридиональная ориентация осей сжатия обусловлена влиянием спрединга в Арктике, что убедительно представлено в работе [Немченко и др., 1999], показавших, что гигантские газовые месторождения на севере ЗСП образовались под воздействием процессов спрединга в Арктике. По Л.К. Зятьковой начало неотектонического этапа на ЗСП относится к концу эоцен-раннеолигоценового времени, при этом главная стадия относится к неоген-раннечетвертичному времени. Весь новейший этап характеризуются резкими сменами восходящих и нисходящих движений, которые зафиксированы в отложениях различных свит миоцен-плиоценового и четвертичного возраста; свиты разделены между собой периодами поднятия территории и размывами [Зятькова, 1979].

Сибирская платформа. Результаты изучения неотектонических напряжений СГ методом, производившием в южной части Сибирской платформы опубликованы в работах [Сим, Постников и др., 2016а; Сим, Маринин и др., 2016б] и обобщены в работе [Сим, Маринин и др., 2018]. В результате реконструкции неотектонических напряжений СГ методом по новейшим разломам I ранга в зоне Норильско-Хараелахского разлома, Байкитской антеклизы, Иркинеево-Чадобецкого рифтогенного прогиба и других структурах установлены региональные неотектонические напряжения в виде горизонтального сдвига с субмеридиональными ориентировками осей сжатия и субширотными осями растяжения.

Наиболее сложные ориентировки осей сжатия установлены в пределах Вилюйской синеклизы и Оленекского поднятия, в пределах которых реконструированы практически хаотически ориентированные оси сжатия в горизонтальной плоскости см. (рис. 8). Тем не менее, при более детальном анализе выделены ориентации осей сжатия, нормальные к выпуклой границе Верхоянской орогенной области в сторону Сибирской платформы, интерпретированные нами как влияние новейшего орогена Верхоянья на платформу (см. рис. 8). Они единичны и дают основание предполагать, что на неотектоническом этапе влияние орогенных процессов в Верхоянье не распространяется далеко на восток.

Положительные структуры фундамента восточной окраины Сибирской платформы, развивавшиеся с протерозоя как поднятия — Оленекское и расположенное южнее Мунское — характеризуются специфическим напряженным состоянием: радиально расходящимися ориентировками горизонтальных осей сжатия. Они показывают, что эти структуры формируются под воздействием внутриплатформенных источников деформирования по аналогии со структурами ВЕП (см. рис. 8).

Севернее Оленекского поднятия была произведена целенаправленно реконструкция тектонических напряжений, чтобы уловить влияние рифтогенеза в Арктике на эту часть Сибирской платформы (рис. 9). Ориентировки осей сжатия, восстановленные по дешифрированию мегатрещин в кайнозойских отложениях, перекрывающих весь исследованный участок, имеют субширотную ориентацию, меняющуюся от 3СЗ до ВСВ простирания. Они не согласуются с данными механизмов очагов землетрясений, восстановленных между окраиной Сибирской платформы в этой части и хребтом Гаккеля, т.е. в данном случае говорить о влиянии спрединга в Арктике нет оснований. Такой результат объясняется, по-видимому, близостью полюса вращения между Евразийской и Северо-Американской плитами (см. рис. 9) и подтверждает мнение о том, что низкая сейсмичность на континентальной части хребта Гаккеля может быть связана с близостью Эйлерова полюса вращения Евроазиатской и Северо-Американской литосферных плит [Hindle and Mackey, 2011].

В этой части Северо-Восточной Азии фиксируется диффузная сейсмичность, а геодезические данные GPS измерений немногочисленны [Mackey et al., 2010; Steblov et al., 2003]. Кроме этого, батиметрические исследования в Прилаптевоморском окончании хребта Гаккеля (рис. 10) дали

основание предполагать, что в районе 81° с.ш. существует зона глубинного разлома СВ простирания, который «... отделяет зону прилаптевоморского окончания от остальной части хребта Гаккеля. Область торцового сочленения хребта Гаккеля с Лаптевоморской континентальной окраиной на значительных этапах эволюции развивалась в обстановке относительного тектонического покоя с преобладанием нисходящих вертикальных движений» [Гусев, Зайончек, и др., 2002].



**Рис. 8.** Схема неотектонических напряжений восточной окраины Восточно-Сибирской платформы: l-3 — оси сжатия в горизонтальной плоскости, восстановленные структурно-геоморфологическим методом, характеризующие: l — разломы, 2 — влияние сводовых поднятий, 3 — влияние орогена на платформенные структуры; 4 — горизонтальные сдвиги; 5-6 — локальные геодинамические обстановки: 5 — сжатия, 6 растяжения; 7 — разрывные структуры; 8-9 — структуры фундамента: 8 — поднятия, 9 — грабены

Fig. 8. Scheme of neotectonic stresses of the Eastern margin of the East Siberian platform:

1-3 — compression axes in the horizontal plane, restored by structural-geomorphological method, characterizing: 1 — faults, 2 — the influence of vault elevations, 3 — the influence of orogen on platform structures; 4 — strike-slip faults; 5-6 — local geodynamic conditions: 5 — of compression, 6 — of stretching; 7 — discontinuous structures; 8-9 — foundation structures: 8 — elevations, 9 — grabens



Рис. 9. Неотектонические напряжения северной части Сибирской платформы вблизи вхождения зоны Арктического спрединга на континент:

*1–2*— ориентировки осей сжатия, отражающие: *1*— кольцевую структуру Оленекского поднятия с внутриплатформенным источником тектонических напряжений, *2*— прочие; *3*— сдвиги; *4–5*— геодинамические обстановки формирования горизонтальных сдвигов: *4*— сжатия, *5*— растяжения; *6–9*— разломы: *6*— анализируемые, подтвержденные геологией и геофизикой, *7*— с известным падением плоскости сместителя, *8*— погребенные под чехлом кайнозойских отложений, *9*— (по: [Сим, Маринин и др., 2018]; *10–12*— механизмы очагов землетрясений: *10*— [Ітаеva, Gusev et al., 2017]), *11*— [Grachev, 2003], *12*— [Engen, Eldholm, 2003]; *13*— горизонтальные проекции главных осей деформации (растяжение, сжатие) (по: [Ітаеva, 2017]

Fig. 9. Neotectonic stresses of the Northern part of the Siberian platform near the entrance of the Arctic spreading zone to the continent:

l-2 — orientations of compression axes reflecting: l — ring structure of Olenek uplift with intra-platform source of tectonic stresses, 2 — others; 3 — strike-slip faults; 4-5 — geodynamic conditions of strike-slip faults formation: 4 — compression, 5 — stretching; 6-9 — faults: 6 — analyzed, confirmed by geology and geophysics, 7 — with a known fall of the displacer plane, 8 — buried under the cover of Cenozoic deposits, 9 — (by: [Сим, Маринин и др., 2018]; 10-12 — mechanisms of earthquake: 10 [Imaeva, Gusev et al., 2017]), 11 — [Grachev, 2003], 12 — [Engen, Eldholm, 2003]; 13 — horizontal projections of the main axes of deformation (tension, compression) (by: [Imaeva, 2017])

#### Неотектонические напряжения в орогенных структурах Евразии

Комплексом методов восстановлены неотектонические напряжения в Карпатах, в Горном Крыму, на Кавказе, Пай-Хое, на Полярном и Северном Урале. На Пай-Хое восстанавливались СГ методом [Сим, Брянцева, 2007], на Полярном и Северном Урале — кинематическим методом. В исследованных частях Урала для крупных блоков восстановлены общие поля напряжений.

Карпаты — Горный Крым. В пределах указанных структур кинематическим методом с применением методов статистики восстановлены тектонические напряжения нескольких этапов. Так, в Карпатах наиболее представительными являются ЛСС с субмеридиональной осью сжатия и субвертикальной осью растяжения, со сжатием горизонтальной, СВ ориентировки с наклонными осями растяжения (взбросовый и сдвиго-взбросовые режимы кинематики на разломах) [Гинтов, Корчемагин и др., 2002]. Восстановленные ранее СГ методом неотектонические напряжения на ЮЗ Русской плиты (см. рис. 3) отражают, как было отмечено выше, влияние орогенеза Карпат. Ось сжатия I ранга СЗ простирания в Горном Крыму также была восстановлена СГ методом (см. рис. 3). Проанализированные кинематическим методом с применением статистики тектонические напряжения соскатия —  $353^{\circ} \angle 50^{\circ}$  и оси растяжения —  $67^{\circ} \angle 6^{\circ}$ , а также оси сжатия —  $310^{\circ} \angle 20^{\circ}$  и оси растяжения —  $47^{\circ} \angle 20^{\circ}$ ) [Гинтов и др., 2002]. Таким образом, в Горном Крыму результаты реконструкции тектонических напряжений, восстановленных разными методами, в значительной мере идентичны.



**Рис.** 10. Тектоническая ситуация Охотской плиты и ее связь с открытием и распространением Североатлантической системы хребта Гаккеля. Синие и красные стрелки показывают тектонические движения плит, по [Hindle and Mackey, 2011]. Желтой звездочкой показан полюс вращения Евроазиатской и Северо-Американской плит

**Fig. 10.** The tectonic situation of the Okhotsk plate and its connection with the discovery and spread of the North Atlantic system of the Gakkel ridge. Blue and red arrows show plate tectonic movements, by [Hindle and Mackey, 2011]. The yellow asterisk shows the pole of rotation of the Eurasian and North American plates

Кавказ. Весь Кавказский регион был исследован П.Н. Николаевым [Nikolaev, 1992], который выделил три ранга новейших тектонических напряжений. Для региональных тектонических напряжений Кавказа и Ирана (I ранга) определены региональные тектонические напряжения со сдвиговым геодинамическим режимом с север-северо-восточным субгоризонтальным сжатием и запад-северо-западным растяжением (см. рис. 7, слева). Нами на всю территорию Кавказа были восстановлены неотектонические напряжения по топографической карте масштаба 1:1 000 000. Они нанесены на рис. 3 и свидетельствуют о преобладании меридионально ориентированных осей сжатия, разворачивающихся на западе, приобретая СЗ ориентировки. Было отмечено, что обстановка растяжения, восстановленная на СЗ Кавказе, возможно, обусловлена развитием впадины Черного моря [Sim, Bankwitz et al., 1999].

Повторные реконструкции тектонических напряжений СГ методом проведены по космическим снимкам высокого качества (рис. 11). Разворачивание осей сжатия в СЗ направлении на СЗ Кавказа и на СВ вплоть до широтных ориентаций связано с особенностями СГ метода, в котором допускается переиндексация вертикальной промежуточной оси  $\sigma_2$  с осью сжатия  $\sigma_3$  при доминировании обстановки горизонтального растяжения. Абсолютные величины тектонических напряжений в этом случае примерно равны, поэтому в горизонтальной плоскости могут образоваться триады оперяющих трещин со сдвигом по простиранию, одинаковые при геодинамическом типе напряженного состояния как горизонтального растяжения, так и горизонтального сдвига. Так как эти аномальные широтные оси сжатия определились на борту развивающегося Терско-Каспийского прогиба, то было принято решение обозначить широтные оси сжатия как оси промежуточных напряжений. Вертикальная ось сжатия в этом случае соответствует типу горизонтального растяжения на месте меридиональной осыю растяжения. Такая ориентация осей главных нормальных напряжений полностью согласуется со сбросовым режимом и формированием указанного прогиба с растяжением, ориентированным поперек прогиба.

Горизонтальная широтная ось растяжения на C3 Кавказе находится в согласии с процессом выжимания горных пород в сторону Черного моря [Расцветаев,1987; Трифонов, 1999]; такое удлинение было зафиксировано при полевом изучении тектонических напряжений на C3 Кавказе [Маринин, Сим, 2015]. В Центральной части Кавказа сдвиговый тип напряженного состояния СГ методом не установлены, что связано с ограничениями метода, не позволяющими его применять для разломов взбросовой кинематики.



#### Рис. 11. Неотектонические напряжения Кавказа:

1–2 — разломы: 1 — по [Карта разломов... ..., 1980]; 2 — разломы по [atlaspacket.vsegei.ru] и дешифрированию космических снимков; 3–4 — ориентация горизонтальных осей сжатия: 3 — І ранга, 4 — ІІ ранга; 5 — сдвиги: а — левые, б — правые; 6 — геодинамическая обстановка формирования (активизации) разломов: а — сжатия, б — растяжения

Fig. 11. Neotectonic stresses of the Caucasus:

1-2 — faults: 1 — by [Карта разломов..., 1980]; 2 — faults on [atlaspacket.vsegei.ru] and decryption of space images; 3-4 — orientation of horizontal compression axes: 3 — I, 4 — II ranks; 5 — strike-slip faults: a — sinistral, b — dextral; 6 — geodynamic conditions of formation (activation) of faults: a — compression, b — tension

Северный Тянь-Шань. Исследование тектонических напряжений Северного Тянь-Шаня проведено в пределах Киргизского хребта. Реконструкция тектонических напряжений произведена как кинематическим, так и методом катакластического анализа векторов перемещений на зеркалах скольжения и другим геологическим индикаторам стресс-состояний. В зоне неотектонических поднятий Северного Тянь-Шаня реконструированы ЛСС, которые показали, что обстановки горизонтального растяжения часто фиксируются на участках, приуроченных к перегибу между Киргизским хребтом и Чуйской впадиной. В пределах Киргизской мегантиклинали, совпадающей с одноименным хребтом, преобладают обстановки горизонтального сжатия с ССЗ — меридиональной ориентировками осей сжатия [Сим, Маринин и др., 2018]. При этом в породах Киргизского хребта восстановлены ЛСС, которые характеризуются как разными типами напряженного состояния, так и значительными вариациями направлений осей главных нормальных напряжений. Важным выводом является впервые восстановленные для Северного Тянь-Шаня усредненные неотектонические напряжения, различающиеся для поднятий и впадин: деформирование положительных структур в новейший этап происходит в обстановке горизонтального сжатия с меридиональной ориентацией и субвертикальной осью растяжения, а во впадинах — в обстановке горизонтального растяжения с вертикальной осью сжатия И субгоризонтальной осью растяжения. Такая характеристика неотектонического геодинамического режима во впадинах и поднятиях хорошо согласуется с характеристиками современного напряженного состояния, восстановленного по сейсмологическим данным. Более подробные данные о напряженно-деформированном состоянии земной коры Северного Тянь-Шаня изложены в статье А. В. Маринина, Л. А. Сим и Н. А. Сычевой в настоящем сборнике.

Район Северного — Полярного Урала. Пай-Хой. Район исследования включает в себя северные части Уральской (Северный, Приполярный, Полярный Урал) и южную часть Новоземельско-Пай-Хойской (Пай-Хой) областей Урало-Охотского подвижного пояса. Несмотря на то, что в современной орографии Пай-Хой выглядит как продолжение Уральского орогена, по истории геологического развития и структуре он существенно отличается от последнего. Пай-Хой отделен от Полярного Урала «крупным разломом ССЗ простирания, продолжающим фронтальный надвиг Западной Уральской зоны и носящим вместе с тем характер левого сдвига». Косая коллизия на Урале развивалась с юга на север (со среднего карбона на Южном Урале до середины перми на севере) из-за разворота Казахстанской плиты против часовой стрелки, с чем связано образование сдвигов [Хаин, Лимонов, 2004].



**Рис. 12.** Структурно-геоморфологическая схема и неотектонические напряжения Пай-Хоя. Новейшие поднятия за конэрозионный этап развития:

*1*—0–100 м; *2*—100–200 м; *3*—200–300 м; *4*—более 300 м; *5*—границы новейших структур Пай-Хоя: I—Северная, П—Центральная, Ш—Южная; *6*—Полярный Урал; *7*—граница между Пай-Хоем и Полярным Уралом (*a*—достоверная, *б*— предполагаемая); *8*—Кара-Осовейский разлом; *9*— крупные реки в поясе меандр; *10*— разломы; *11*— оси сжатия в горизонтальной плоскости (*a*—I, *б*—II и более мелких рангов); *12*— геодинамические обстановки напряженного состояния (*a*—сжатия, *б*— растяжения); *13*— кинематические типы разломов (*a*—надвиги, *б*—сдвиги, *в*—сбросы)

Fig. 12. Structural and geomorphological and neotectonic scheme of the voltage of the Pai-Khoi. The latest raise for generationny stage of development:

1 — 0–100 m; 2 — 100–200 m; 3 — 200–300 m; 4 — more than 300 m; 5 — boundaries of the newest Pai-Hoi structures: I — North, II — Central, III-South; 6 — Polar Urals; 7 — the border between Pai-Hoi and the Polar Urals (a — reliable,  $\delta$  — assumed); 8 — Kara-Osovey fault; 9 — large rivers in the meander belt; 10 — faults; 11 — compression axes in the horizontal plane (a — I,  $\delta$  — II and smaller ranks); 12 — geodynamic conditions (a — compression,  $\delta$  — stretching); 13 — kinematic types (a — reverse faults,  $\delta$  — strike-slip faults,  $\epsilon$  — normal faults)

На Пай-Хое и Полярном Урале неотектонические напряжения восстановлены СГ методом, а также в пределах Северного — Полярного Урала — кинематическим методом. Для всей территории составлены структурно-геоморфологические карты по методике Н.П. Костенко [Костенко, Брянцева, 2000] Восстановленные на Пай-Хое СГ методом неотектонические напряжения показали преобладание субгоризонтальных осей сжатия меридиональной ориентировки и субширотной — растяжения (рис. 12). Подтверждением субширотного растяжения является раскрытие небольшой Карской губы в устье р. Кара, ограниченной разломом СВ простирания, вдоль которого восстановлено ЛСС II ранга; он формируется в обстановке дополнительного растяжения.

На Полярном Урале в пределах массива ультраосновных пород Рай-Из, приуроченному к Главному Уральскому разлому, восстановлены тектонические напряжения двух этапов (рис. 13). Ранний реконструирован по массовому замеру трещин с помощью выделения сколовых сопряженных трещин [Гзовский, 1975] и кинематическим методом [Гущенко, 1979]. Доминирование контракционных трещин остывания не позволило установить однозначную ориентировку оси сжатия; ось растяжения субвертикальна. Более позднее поле напряжений было восстановлено по бороздам скольжения и показало в центральной части массива ось сжатия субгоризонтальной ориентации в ССЗ направлении; более круто погруженная ось растяжения ориентирована по-разному в локальных объемах, но имеются и объемы с субширотной и пологим погружением оси растяжения [Васильев, Каплин, Сим, 1985]. Все же было принято решение, что ОПН для массива здесь взбросовое с крутой ориентировкой оси сжатия, унаследованной от этапа надвигания массива в процессе герцинского орогенеза (рис. 14).



Рис. 13. Схема новейшей тектоники Полярного Урала, по [Сим, Брянцева, Чекмарев, 2007]:

1 — главные (региональные) неотектонические разломы (в квадратах: 1 — Варчато-Таньюский; 2 — Собский,
3 — Лаптаеганский, 4 — Новогодненский, 5 — Среднетаньюский, 6 — Малоханмейский, 7 — Харбейский,
8 — Ланготьеганский, 9 — Щучьинский, 10 — Пензеяхский); 2 — второстепенные (локальные) разломы;
3 — горизонтальные сдвиговые составляющие по разломам; 4 — структуры поднятий Полярного Урала (в кружках:
1 — Каровое, 2 — Хараматолоу, 3 — Рай-Из, 4 — Ханмейское, 5 — Харбейское, 6 — Сыумкев); 5 — структуры поднятий Малого Урала (в кружках: 7 — Янас-Тэре, 8 — Собское, 9 — Харпское, 10 — Новогодненское, 11 — Лаптаеганское, 12 — Ланготьеганское, 13 — Надаяхинское); 6 — структуры Западно-Сибирской плиты, вовлеченные в воздымание в четвертичное время; 7 — границы новейшей Обской впадины Западно-Сибирской плиты;
8, 9 — оси сжатия в горизонтальной плоскости: 8 — региональные, 9 — локальные; 10 — дополнительные геодинамические обстановки формирования разломов: I — сжатия, II — растяжения

Fig. 13. Scheme of the latest tectonics of the Polar Urals, by [Сим, Брянцева, Чекмарев, 2007].

1 -major (regional) neotectonic faults (squared: 1 -Marcato-Tanewski, 2 -Sobski, 3 -Laptayeganskaya, 4 -Novogroznenskiy, 5 -Srednerusskiy, 6 -Malkamaki, 7 -Garbacki, 8 -Lagodekhskiy, 9 -Muchlinski, 10 -Penzensky); 2 -minor (local) faults; 3 -he components of shear along faults; 4 -the structure of the elevations of the Polar Urals (in the circles: 1 -Glacial, 2 -Karamatullo, 3 -Paradise-From, 4 -Hammashi, 5 -Harbecke, 6 -Syomki); 5 -structures of uplifts of the Small Urals (in circles: 7 -yanas-Ter, 8 -Sobs, 9 -Harp, 10 -Novogodnenskoe, 11 -Laptaeganskoe, 12 -Langotyeganskoe, 13 -Nadayakhinskoe); 6 -structures of the West Siberian plate involved in uplift in Quaternary time; 7 - boundaries of the newest Ob depression of the West Siberian plate; 8, 9 - compression axes in the horizontal plane: 8 - regional, 9 - local; 10 - geodynamic conditions of fault formation: I - compression, II - stretching



**Рис. 14.** Тектонические напряжения Северных частей Урала, по [Sim, Bankwitz et al., 1999; Сим, 2000] **Fig. 14.** Tectonic stresses of the Northern parts of the Urals, by [Sim, Bankwitz et al., 1999; Сим, 2000]

Неотектонические напряжения, восстановленные СГ методом на весь Полярный Урал, показывают субмеридиональную ориентацию оси сжатия и субширотную — растяжения (см. рис. 13). Такой горизонтально-сдвиговый тип неотектонического напряженного состояния уверенно восстанавливается вдоль восточной границы орогенной структуры на границе с Западно-Сибирской плитой. Единичные ориентировки осей меридионального простирания оси сжатия восстановлены и вдоль западной границы Полярного Урала с Тимано-Печорской молодой плитой.

По всей вероятности, субмеридиональные ориентации осей сжатия на Пай-Хое, Приполярном Урале, так же как и на севере Западно-Сибирской плиты, обусловлены процессами рифтогенеза в Арктике.

Район Приполярного — Северного Урала. В названных частях Урала неотектонические напряжения восстановлены кинематическим методом. В исследованных частях Урала для крупных блоков восстановлены блоковые поля напряжений II ранга. Изменение простирания Уральских структур потребовало определение «общего (блокового) поля» напряжений для разных частей Урала

(см. раздел «Методика»), которые были отнесены ко II рангу. Изменчивость простирания структур не дает возможность определения ОПН для всей исследованной территории. Результаты нанесены на рис. 14 на основе работы [Сим, 2000]. С севера на юг выделены общие поля напряжений для Рай-Изского массива, гряды Чернышова и т.д. На гряде Чернышова восстановлено напряженное состояние горизонтального сдвига с меридиональной ориентацией оси сжатия и широтной — оси растяжения, Рай-Изский блок обсуждался выше.

Особенно изменчивые блоковые тектонические напряжения установлены на Приполярном Урале. Здесь на Кожимской кольцевой структуре, представляющей гранито-гнейсовый купол (скрыт под рифей-протерозойскими породами и на дневной поверхности проявляется лишь в виде многочисленных выходов палеозойских магматических интрузий) были восстановлены общие тектонические напряжения горизонтального растяжения с субвертикальной осью сжатия и горизонтальной осью растяжения. Сугоризонтальная промежуточная ось ориентирована с СВ на ЮЗ. На схеме локальных тектонических напряжений субверикальная ось сжатия в центральной части массива к периферии становится более пологой и радиально расходится по отношению к центру массива. На западном склоне Приполярного Урала реконструкции ЛСС в бассейне р. Кожим дали возможность установить «общее сдвиговое поле» напряжений с меридиональной ориентировкой оси сжатия и, соответственно, широтной — оси растяжения. Далее при продвижении на юг общие поля напряжений характеризуются взбросовым режимом тектонических напряжений с ориентацией горизонтальной оси сжатия поперек палеозойских складчатых структур. В целом на Приполярном Урале восстановлено позднегерцинское напряженно-деформированное состояние, характеризующееся геодинамическим типом напряженного состояния горизонтального сжатия при субгоризонтальной ориентации оси сжатия поперек складчатых структур. Оно было возобновлено на неотектоническом этапе развития территории.

Позднегерцинский возраст установлен по бороздам скольжения, которые на площадках с одинаковой ориентировкой идентичны, при этом указанные площадки измерялись как в протерозойских сланцах, вмещающих позднегерцинские кварцевые жилы, так и на контакте жил со вмещающими породами. Унаследование на неотектоническом этапе позднегерцинских тектонических напряжений определяется по полной идентичности новейших структур с позднегерцинскими с той лишь разницей, что складчатый этап сопровождался формированием складок с преобладанием пластических деформаций, а неотектонический — развитием глыбовоблоковых движений с небольшими деформациями поверхностей выравнивания и с унаследованным от герцинского этапа развитием положительных и отрицательных структур. Продолжающееся воздымание гранитогнейсового Кожимского купола на новейшем этапе подтверждается тем, что здесь находится самая высокая вершина Урала — г. Народная, «возглавляющая» по аналогии с Памиром почти нерасчлененное высокое плато. Процесс всплывания гранито-гнейсового купола обусловлен внутренними источниками тектонических сил, возможно, связанных с глобальными процессами в обрамлении структур Северной Евразии лишь опосредованно. Безусловно, этот тезис требует дополнительных исследований. Неотектонические напряжения горизонтального сдвига на Пай-Хое и Полярном Урале с субмеридиональным сжатием обусловлены процессами спрединга в Арктическом бассейне. Движение масс от хребта Гаккеля вызвало перестройку меридиональных палеозойских структур на Западно-Сибирской платформе, которые были унаследованы от мезозойского рифтогенеза и имели меридиональное простирание.

Верхояно-Чукотская зона мезозойской складчатости (Центральная Чукотка). В Центральной Чукотке тектонические напряжения восстанавливались СГ методом на территории, ограниченной координатами 64°–68° с.ш. и 162°–180° в.д.

На западе выделены неотектонические структуры, относящиеся к окраине Верхоянского складчатого комплекса, при этом Анюйское горное сооружение целиком отражает Анюйскую офиолитовую сутуру — след закрывшегося в середине мезозоя Протоарктического океана. Восточное окончание сутуры перекрыто отложениями Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и в новейших структурах не находит отражения.

Восточные структуры относятся к Новосибирско-Чукотской складчатой зоне. Значительную часть исследуемой территории занимает Охотско-Чукотский вулканоплутонический окраинноконтинентальный поясом (ОЧВП), который с несогласием залегает на различных более древних структурах и является следствием субдукционных процессов. В основании пояса лежит Кони-Мургальская сутура. Отложения ОЧВП перекрывают восточное окончание Анюйской сутуры, которое не находит отражения в новейших структурах. Юго-запад территории относится к Колымской петле, представляющей собой коллаж террейнов [Натапов, 1990; Соколов, 2010]. В пределах Анюйского горного сооружения СГ методом восстановлены напряженные состояния горизонтального сдвига с осями сжатия I ранга CB простирания. Левосдвиговые перемещения противоречат геологическим данным о правых сдвигах по разломам 3C3 простирания. Это можно связать с перестройкой структурного плана на неотектоническом этапе (10-0 млн лет по С.Д. Соколову). По отчетливо дешифрирующемуся разлому I ранга, лежащему в основании Кони-Мургальскогй сутуры, уверенно восстановлены субмеридиональные оси сжатия (рис. 15). На северовостоке изученной территории по мелким разломам, ограничивающим и усложняющим Пекульнейское, Корякское и Южно-Чукотское горные сооружения, восстановлены оси сжатия II ранга ССВ и СВ простираниий. Таким образом, Центральная Чукотка на неотектоническом этапе деформируется в поле напряжений горизонтального сдвига со сжатием, имеющим меридиональные и северо-восточные простирания.



**Рис. 15.** Структурно-геоморфологическая схема центральной части Чукотки и неотектонические напряжения: 1–5 — суммарные конэрозионные поднятия (1 — до 100 м, 2 — 101–500 м, 3 — 501–1000 м, 4 — 1001–1500 м, 5 — более 1500 м); 6 — границы структур; 7 — разрывные нарушения; 8 — границы структур 1-го порядка; 9 — границы структур 2-го и более низких порядков, часть которых является сбросами; 10–11 неотектонические напряжения: 10 — ориентировка осей сжатия: а — I ранга, б — II ранга; 11 — геодинамические обстановки формирования сдвигов: а — дополнительного сжатия, б — растяжения; 12 — сдвиги. Цифрами на карте обозначены горные сооружения I–VIII, XI–XIV: I — Анюйское; II — Илирнейское; III — Палечваамское; IV — Пекульнейское; V — Центрально-Чукотское; VI — Алучинское (хребты-поднятия: VI<sub>1</sub> — Олойский, VI<sub>2</sub> — Уш-Урэшкчэнский, VI<sub>3</sub> — Кедонский); VII — Анадырское; VIII — Чуванско-Щучьинское; XIV — Майнские, XIV<sub>2</sub> — Рарыткинские; впадины: IX — Парабольско-Бельская; X — Амгуэмская; XV — Анадырская

Fig. 15. Structural-geomorphological scheme of the Central part of Chukotka and neotectonic stresses:

l-5 — total concrosion elevations in m (l — up to 100, 2 — 101–500, 3 — 501–1000, 4 — 1001–1500, 5 — more than 1500); 6 — structure boundaries; 7 — faults; 8 — boundaries of structures of 1 order; 9 — boundaries of structures of 2 and lower order, some of which are normal faults; l0-l1 — neotectonic stresses: l0 — orientation of compression axes: a — I,  $\delta$  — II of rank; l1 — geodynamic conditions of the formation strike-slip faults: a — additional compression,  $\delta$  — of stretching; l2 — strike-slip faults. Numbers on the map indicate *mountain structures* I–VIII, XI–XIV: I — Anyujskoe; II — Ilirnejskoe; III — Palechvaamskoe; IV — Pekul'nejskoe; V — Central'no-Chukotskoe; VI — Aluchinskoe (ridges-elevations: VI<sub>1</sub> — Olojskij, VI<sub>2</sub> — Ush-Ureshkchenskij, VI<sub>3</sub> — Kedonskij); VII — Anadyrskoe; VIII — Chuvansko-Shchuch'inskoe; XI — Yuzhno-Chukotskoe; XII — Kolymskoe; XIII — Russkoe; XIV — Koryakskoe (ridges-elevations: XIV1 — Majnskie, XIV<sub>2</sub> — Rarytkinskie; vpadiny: IX — Parabol'sko-Bel'skaya; X — Amguemskaya; XV — Anadyrskaya

*Юго-восточное Забайкалье (Стрельцовская кальдера).* Стрельцовская кальдера мезозойского возраста является элементом Монголо-Охотского складчатого пояса. В кальдере расположено крупнейшее в России Стрельцовское урановорудное поле, которое включает более двадцати U-Мо месторождений. Впервые была выполнена реконструкция напряженного состояния в окружающих кальдеру структурах с применением СГ метода. Исходным материалом для выделения новейших разломов и реконструкции напряженного состояния массивов пород в районе кальдеры служили

фрагменты топографических карт масштаба 1:100 000 и составленная из них карта масштаба 1:500 000. В результате исследований неотектонических напряжений установлено, что массивы пород деформируются в неотектонический этап в поле напряжений горизонтального сдвига с осями сжатия, ориентировка которых изменяется от субмеридиональной до СВ [Петров, Сим и др., 2010].

Главную структуроформирующую роль на новейшем этапе играют разломы I ранга CB-ЮЗ простирания, отделяющие отчетливо выраженную впадину Сухой Урулюнгуй (погруженный северозападный блок кальдеры) от расположенного на юго-восток от нее горстообразного поднятия (собственно Стрельцовская кальдера). По сравнению с разломами CB простирания ортогональные разломы I ранга существенно более «разбиты», а по выраженности разломов в рельефе можно сказать, что меридиональные и широтные разломы древнее разломов CB простирания. Наиболее молодыми активизированными и, возможно, сформированными в неотектонический этап являются разломы C3-ЮВ простирания, в целом секущие и смещающие прочие разломы [Petrov et al., 2010]. Общей характеристикой неотектонических напряжений района исследований является геодинамическая обстановка дополнительного горизонтального сжатия и трехосное напряженное состояние. На самом северо-востоке района в окрестностях пос. Досатуй восстановлена геодинамическая обстановка горизонтального растяжения, которая должна определять уникальные по отношению к другим частям района гидрогеологические условия (рис. 16).



**Рис. 16.** Схема новейшей разломной тектоники и неотектонических напряжений района Стрельцовской кальдеры: 1–2 — неотектонические разломы I ранга (1), II и более мелких рангов (2); 3–4 — кинематические типы разломов: сдвиги (3), сбросы или взбросы (зубцы направлены в сторону опущенного крыла) (4); 5–6 — ориентация осей сжатия в горизонтальной плоскости: I ранга (5), II и более мелких рангов (6); 7–9 — геодинамическая обстановка формирования разломов: трехосного напряженного состояния (7), сжатия (8), растяжения (9); 10 — контур Стрельцовской кальдеры (заштрихована часть, скрытая под осадками впадины Сухой Урулюнгуй); 11 — населенные пункты, по [Петров, Сим и др., 2010]

Fig. 16. Scheme of the latest fault tectonics and neotectonic stresses of the Streltsovsky Caldera area:

l-2 — neotectonic faults of I-th rank (1), II and smaller ranks (2); 3-4 — kinematic types of faults: strike-slip faults (3), normal or reverse faults (teeth are directed towards the lowered wing) (4); 5-6 — orientation of compression axes in horizontal plane: I-th rank (5), II-th and smaller ranks (6); 7-9 — the geodynamic condition of formation of faults: of triaxial stress state (7), of compression (8), of stretching (9); l0 — the contour of the Streltsovsky Caldera (shaded part hidden under the sediments of the basin Suhoj Urulyunguj) ); l1 — human settlement, by [Петров, Сим и др., 2010]

Сахалин. Расположенный между крупнейшими литосферными Евразийской, Северо-Американской и Тихоокеанской плитами о. Сахалин является особой структурой в Северной Евразии. Между названными плитами выделяют самостоятельно вращающиеся микроплиты — Амурскую и Охотскую. Граница между ними разными авторами выделяется по-разному: либо по меридиональному крупнейшему Центрально-Сахалинскому (Тымь-Поронайскому) разлому, либо с юга по Татарскому проливу, которая на севере Центрального Сахалина проходит по острову, субмеридионально сечет Северный Сахалин и на материке соединяется с границей Момского рифта [Hindle and Mackey, 2011]. Результаты полевых тектонофизических исследований кинематическим методом на Южном и юге Центрального Сахалина, а также СГ методом на Центральном и Северном Сахалине позволили сделать вывод о доминировании на Сахалине поля напряжений горизонтального сдвига с субширотной ориентацией оси сжатия, которая при перемещении на север постепенно разворачивается на BCB и на Северном Сахалине приобретает СВ простирание (рис. 17), по [Сим, Маринин и др., 2018].



Рис. 17. Неотектонические напряжения Сахалина:

А. 1-3 — неотектонические структуры: 1 — разломы, 2 — границы структур I ранга, 3 — границы структур II ранга; 4 — ориентации осей сжатия в зоне разломов, сформированных в разной геодинамической обстановке: а — чистого сдвига (трехосного напряженного состояния), б — растяжения, в — сжатия; 5 — оси ОПН Южного и юга Центрального Сахалина: а — растяжения, б — сжатия; 9 — сдвиги. Цифры в кружках — разломы: 1 — Центрально-Сахалинский (Тымь-Поронайский).

Б. Схема районирования областей с разной геодинамической обстановкой: 6–8 — ориентации осей сжатия с разной геодинамической обстановкой: а — растяжения, б — чистого сдвига, в — сжатия; 9 — сдвиги (на рис. А); 10 — оси ОПН Южного и юга Центрального Сахалина: а — растяжения, б — сжатия; 11 — траектории осей сжатия; 13–15 — области с разными геодинамическими обстановками: 13 — чистого сдвига, 14 — растяжения, 15 — сжатия

Fig. 17. Neotectonic stresses of Sakhalin:

A. 1-3 — neotectonic structures: 1 — faults, 2 — boundaries structures of I rank, 3 — boundaries structures of II rank; 4 — orientations of compression axes in the zone of faults formed in different geodynamic conditions: a — pure shear (triaxial stress state),  $\delta$  — of stretching, a — of compression; 5 — axes of the general stress field of South and South Central Sakhalin: a — of stretching,  $\delta$  — of compression; 9 — strike-slip faults. The numbers in the circles — faults: 1 — the Central Sakhalin (Tym-Poronai).

6. The scheme of zoning of areas with different geodynamic condition: 6-8 — Orientations of compression axes with different geodynamic conditions: a — of stretching,  $\delta$  — pure shear, e — of compression; 9 — strike-slip faults (for fig. A); 10 — axes of the general stress field of South and South Central Sakhalin: a — of stretching,  $\delta$  — of compression; 11 — the trajectory of the axes of compression; 13-15 — areas with different geodynamic conditions: 13 — pure shear, 14 — of tension, 15 — of compression

Единое поле напряжений, восстановленное по ЛСС для Южного Сахалина, не дает возможности проводить границу между Амурской и Охотской (Охотоморской) плитами по этой части Сахалина. На остальной части острова она вероятнее всего проходит по границе между областями с разными геодинамическими обстановками — чистого сдвига (Б<sub>1</sub>) и сжатия (В).

#### Взаимосвязь неотектонических напряжений Северной Евразии с глобальным тектогенезом

По результатам разномасштабных исследований тектонических напряжений Северной Евразии составлена схема неотектонических напряжений (рис. 18). На ней вынесены определения субгоризонтальных осей сжатия, восстановленных СГ методом в структурах Евразии. Поскольку СГ метод опирается на закономерности распределения мелких прямолинейных элементов современного рельефа в зоне динамического влияния разломов, то возраст всех определений напряжений указанным методом автоматически считается неотектоническим. На схему нанесены только определения осей сжатия и растяжения, восстановленные в зонах динамического влияния разломов I ранга. В зависимости от масштаба исследований не выдержана единая классификация разломов по рангам.



Рис. 18. Схема неотектонических напряжений Северной Евразии

Fig. 18. Scheme of neotectonic stresses of Northern Eurasia

На основе анализа этой схемы, которая характеризует неотектонические напряжения самых разных структур Северной Евразии, подтверждаются выводы В.Е. Хаина [Хаин, Лимонов, 2004; Хаин, 2010], Ю.Г. Леонова [Леонов,1995], В.Г. Трифонова [1999], Л.И. Лобковского и др. [Лобковский, Никишин, Хаин, 2004] о взаимосвязи внутриплитных напряжений с глобальными тектоническими процессами. В процессе многолетних исследований тектонических напряжений комплексом методов в разном масштабе было сделано два неожиданных вывода.

1. Граница влияния спрединга в Северной Атлантике и в Арктике не совпала с зоной Тейсейра — Торнквиста СЗ простирания в Западной Европе, а прошла по западу Русской плиты; она определилась как зона неустойчивых напряжений. Вторая ветвь границ неустойчивых напряжений на юге ВЕП, отделяющая зоны воздействия Карпат и Кавказа, также определилась с неожиданной конфигурацией. Границы были связаны с глубинным строением [Сим, 2000]; спустя 20 лет после обнаружения этого факта границы были сопоставлены с сейсмичностью ВЕП и неожиданно подтвердилась еще раз их глубинная природа, так как с ними связано распределение сейсмичности (см. рис. 4) [Сим, Алексеев, 2018]. 2. Неожиданно практически не удалось установить влияние рифтогенеза в Арктике на продолжении этой структуры на материке (устье р. Лены) (см. рис. 9), где предполагалась очевидная связь тектонических напряжений с глобальным процессом. По-видимому, здесь обнаружена характеристика глобальных сил тектоники плит, которые «...неравномерны во времени; при этом фазы их пиковых всплесков могут длиться порядка миллиона лет или менее. В моменты достижения максимумов внутриплитных напряжений могут проявляться и основные фазы деформаций...» [Лобковский, Никишин, Хаин, 2004, с. 116].

Достаточно неожиданным явились результаты реконструкции неотектонических напряжений на Пай-Хое и Полярном Урале — вместо предположительных ориентировок осей сжатия, перпендикулярных к складчатым структурам, почти под прямым углом ориентированные относительно друг друга, были восстановлены субмеридиональные ориентации осей сжатия [Сим, Брянцева и др., 2007; Сим, Брянцева, 2011], проинтерпретированные нами как влияние рифтогенеза в Арктике на формирование новейших структур в этой части орогенных областей. На схеме очевидно, что все платформенные структуры деформируются в напряженном состоянии горизонтального сдвига [Сим, Ребецкий и др., 2010]. Абсолютное доминирование субмеридиональных ориентировок осей сжатия на исследованной территории (в том числе и в пределах Центральной Чукотки) подтверждает мнение М.А. Гончарова об опускании со всесторонним горизонтальным сжатием Арктики из-за северной компоненты дрейфа континентов [Гончаров, 2009]. Исключением из этого правила является Западно-Европейская плита и Фенноскандинавский щит, деформирующиеся под влиянием рифтогенеза в Атлантике. Механизм избыточного горизонтального сжатия в рудных узлах Кольского п-ова обоснован в работе [Ребецкий, Сим, Козырев, 2017]. Такой же механизм установлен в пределах Оленекского и Мунского массивов на северо-востоке Сибирской платформы и на Приполярном Урале (Кожимская кольцевая структура).

### Выводы

1. Все платформенные структуры формируются в неотектонический этап в напряженном состоянии горизонтального сдвига.

2. На фактическом материале подтверждено высказывавшееся ранее влияние глобальных процессов (спрединг в океанах, коллизия при столкновении плит с формированием Альпийско-Гималайского складчатого пояса) на тектонические напряжения внутри крупных литосферных плит.

3. Установлены границы между областями влияния спрединга в Северной Атлантике и в Арктике и орогенеза в Карпатах и Кавказе на формирование неотектонических структур на Западно-Европейской и Восточно-Европейской платформ. Вблизи границ влияния разных глобальных процессов формируются области с неустойчивыми и неупорядоченными ориентировками тектонических напряжений. Эти границы контролируют распространение сейсмичности.

4. Влияние процессов спрединга в Арктике не влияет на напряженно-деформированное состояние северо-восточной части Сибирской платформы. Отмечавшиеся ранее специфические черты пропагации рифтогенеза хребта Гаккеля на континентальную плиту, имеющие специфический характер с рассеянной сейсмичностью, нечетко выраженными разломами — границами между плитами по обе стороны рифта, связаны с близостью полюса вращения Евразийской и Северо-Американской плит.

5. Влияние орогенеза субмеридиональных орогенов Урала и Верхоянья на пограничные платформы на неотектоническом этапе меньше, чем влияние таких же процессов на юге Восточно-Европейской, Скифской и Западно-Сибирской платформ. Структуры Пай-Хоя и Полярного Урала в новейший этап совместно с Русской, Тимано-Печорской, Западно-Сибирской плитами деформируются под влиянием процессов спрединга в Арктике.

6. Обнаружены структуры с возможными внутриплитными источниками тектонических напряжений — остаточными гравитационными напряжениями, высвобождающимися в виде избыточных горизонтальных напряжений вблизи дневной поверхности. Такое явление может сопровождать длительно однонаправленно воздымающиеся кольцевые структуры, когда скорость эрозии и денудации этих структур не успевает разрядить горизонтальные гравитационные напряжения, накопившиеся при пребывании (формировании) структур на значительной глубине в условиях стеснения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания ИФЗ РАН и гранта РФФИ № 17-05-01193а.

## Литература

- Васильев Н. Ю., Каплин О. А., Сим Л. А. К тектонофизическим условиям формирования Рай-Изского хромитоносного массива // Вопросы оруденения в ультрамафитах. М.: Наука, 1987. С.43–52.
- *Геология СССР.* Т. 1. Геологическое описание. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. М.: Недра, 1971. 504 с.

Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.

- Гинтов О.Б., Корчемагин В.А., Сим Л.А. Украинские Карпаты и Горный Крым сходство и различие кинематических характеристик тектонических движений (тектонофизический анализ) // Геофиз. журн. Киев: НАНУ, ин-т геофизики. 2002. Т. 24, № 6. С. 75–92.
- Гогоненков Г.Н., Кашик А.С., Тимурзиев А.И. Горизонтальные сдвиги фундамента Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2007. № 3. С. 3–10.
- Гончаров М.А. Подъем со всесторонним горизонтальным растяжением Антарктики и опускание со всесторонним горизонтальным сжатием Арктики как следствие северной компоненты дрейфа континентов // Материалы 42-го тектонич. совещ. М.: ГЕОС, 2009. С. 151–156.
- Государственная геологическая карта РФ. Сер. Карельская. 1:200 000. Лист Р-35-XXIX, XXX. Утвержден НРС ВСЕГЕИ 09.06.1999. СПб., 1999.
- Гусев Е.А., Зайончек А.В., Мэннис М.В., Рекант П.В., Рудой А.С., Рыбаков К.С., Черных А.А. Прилаптевоморское окончание хребта Гаккеля // Геол.-геофиз. характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИокеангеологии, 2002. Вып. 4. С. 40–54.
- *Гущенко О.И.* Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука. 1979. С. 7–25.
- Данилович В.Н. Метод поясов при исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск: ИПИ. 1961. 47 с.

Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмотектоника Якутии. М.: ГЕОС. 2000. С. 227.

- Зятькова Л.К. Структурная геоморфология Западной Сибири. Наука, Сиб.отд. 1979. 200 с.
- *Карта разломов территории СССР* и сопредельных стран, масштаб: 1:2500000, составлена: Мин-во геологии СССР. 1980.
- *Костенко Н.П., Брянцева Г.В.* Орогенные формы южной части Полярного Урала // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геол. 2002. С. 9–13.
- Леонов Ю.Г. Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // Геотектоника. 1995. № 6. С. 3–25.
- *Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Науч. мир, 2004. 610 с.
- *Маринин А.В., Сим Л.А.* Новейшее напряженное состояние и деформации на западном погружении Большого Кавказа // Геотектоника. 2015. № 5. С. 62–77.
- *Маринин А.В., Сим Л.А., Бондарь И.В.* Тектодинамика Вуоксинской разломной зоны (Карельский перешеек) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. 16. С. 364–368.
- Натапов Л.М. Геология и геодинамическая эволюция Северо-Востока Азии: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 1990. 47 с.
- Немченко Н.Н., Ровенская А.С., Шоелл М. Происхождение природных газов гигантских газовых залежей севера Западной Сибири // Геология нефти и газа, 1999. № 1–2. С. 45–56.
- Николаев П.Н. Методика тектоно-динамического анализа. М. 6. Недра. 1992. 263 с.
- Никонов А.А., Шварев С.В., Сим Л.А., Родкин М.В., Бискэ Ю.С., Маринин А.В. Скальные палеосейсмодеформациии на Карельском перешейке (ключевой участок «пещеры Иностранцева», Ленинградская область) // Докл. АН. 2014. Т. 457, № 5. С. 1–6.
- Петров В.А., Сим Л.А., Насимов Р.М., Щукин С.И. Разломная тектоника, неотектонические напряжения и скрытое урановое месторождение в районе Стрельцовской кальдеры // Геология рудных месторождений. 2010. Т. 52, № 4. С. 310–320.
- Расцветаев Л.М. Тектодинамические условия формирования альпийской структуры Большого Кавказа // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М.: Наука, 1987. С. 69–96.
- Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Козырев А.А. О возможном механизме избыточного горизонтального сжатия рудных узлов Кольского полуострова (Хибины, Ловозеро, Ковдор) // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59, № 4. С. 263–280.
- *Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В.* От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. М.: ГЕОС, 2017.
- Сим Л.А. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Европы // М.В.Гзовский и развитие тектонофизики. М.: Наука, 2000. С. 326–350.
- Сим Л.А., Юрченко О.С., Сироткина О.А. Тектонические напряжения северных частей Урала // Геофиз. журн. 2005. Т. 27, № 1. С. 110–120.

- Сим Л.А., Брянцева Г.В., Чекмарев К.В. Новейшая тектоника и неотектонические напряжения севера Западно-Сибирской плиты и Полярного Урала // Бюлл. МОИП. 2007. № 6. С. 3–10.
- Сим Л.А., Ребецкий Ю.Л., Козырев А.А., Жиров Д.В. Развитие идей П.Н.Кропоткина о широком распространении в земной коре горизонтального сжатия (на примере платформ Северной Евразии). // Дегазация Земли: Геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посв. 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина 18–22 октября 2010. М.: ГЕОС, 2010. С. 504–509.
- *Сим Л.А., Брянцева Г.В.* Новейшие структуры и напряженное состояние северных частей Урала и Пай-Хоя // Бюлл. МОИП, отдел геол. 2011. Т. 86, вып.5. С. 12–20.
- Сим Л.А., Постников А.В., Постникова О.В., Пошибаев В.В. Влияние новейшей геодинамики на газоносность Иркинеево-Чадобецкого рифтогенного прогиба // Экспозиция нефть газ. 2016. № 6 (52). С. 8–12.
- Сим Л.А., Маринин А.В., Гареев К.Р., Мандельберг А.В. Новейшая разломная тектоника и напряженнодеформированное состояние Вилюйской синеклизы. Прогноз участков с повышенной проницаемостью // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: материалы 4-й тектонофизической конф. 3–7 октября 2016 г. М.: ИФЗ, 2016. Т. 1. С. 264–269.
- Сим Л.А., Маринин А.В., Брянцева Г.В., Гордеев Н.А. Результаты изучения тектонических напряжений в регионах Северной Евразии // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 5, № 3. 771–800. URL: https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0371.
- Сим Л.А., Алексеев Р.С. О возможной взаимосвязи сейсмичности с границами изменения параметров регионального поля напряжений // Воздействие внешних полей на сейсмический мониторинг: тез. докл. междунар. юбилейной науч. конф. Бишкек, 2018. С. 104.
- Сим Л.А., Рахматуллина А.С., Маринин А.В. Неотектонические напряжения, разломная тектоника и нефтегазоносность Восточного Предкавказья // Проблемы тектоники континентов и океанов: материалы LI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2019<sub>1</sub>. Т. 2. С. 237–242.
- 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<sub>2</sub>. № 4 (71). С. 22–26.
- Соколов С.Д. Очерки тектоники Северо-Востока Азии // Геотектоника. 2010. № 6. С. 60–78.
- Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. М.: Науч. мир, 1999. 252 с.
- Хаин В.Е., Лимонов А.Ф. Региональная геотектоника. М., 2004. 270 с.
- *Хаин В.Е.* Об основных принципах построения подлинно глобальной модели динамики Земли // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 6. С. 753–760.
- URL: atlaspacket.vsegei.ru
- *Engen Ø., Eldholm O.* The Arctic plate boundary // J. Geophysical Research. 2003. V. 108 (B2). P. 2075. Doi: 10.1029/2002jb001809.
- *Grachev A.F.* The Arctic rift system and the boundary between the Eurasian and North American lithospheric plates: New insight to plate tectonic theory // Russian J. Earth sciences. 2003. October, V. 5 (5). P. 307–345.
- Garetsky R., Levkov E., Scyvab G. et al. Main neogeodynamik Features of the Baltic Sea Depression and adjacent Areas // Techn. poszukian Geol. Geosynoptika i Geotermia. Krakow 1999. Dwumiesieczniz Rok XXXVIII-zeszyt. 1999. V. 2 (195). P. 17–27.
- *Hindle D. and Mackey K.* Earhquake recurrence and magnitude and seismic deformation of the nordwestern Okhotsk plate, nordheast Russia // J. Geophys. Res. 2010. V.116 (BO2301). Doi: 10.1029/2010JB007409, 011.
- Imaeva L., Gusev G., Imaev V., Mel'nikova V. Neotectonic activity and parameters of seismotectonic deformations of seismic belts in Northeast Asia // J. Asian Earth Sciences. 2017. V. 148. P. 254–264.
- Mackey, K., et al. Seismicity map of eastern Russia, 1960–2010 // Seismol. Res. Lett. 2010. V. 81(5). P. 761– 768. Doi:10.1785/gssrl.81.5.761.
- *Ostaficzuk S.* Impact of Poland, s geological structure on neogeodynamics // Techn.posz. geol., geosynoptika i geotermia. 1995. P. 79–107.
- Sim L.A., Korcemagin V., Frischbutter A., Bankwitz P. The neotectonic stress field pattern of the East European Platform // Z. geol. Wiss. Berlin. 1999. V. 27 (3/4). P. 161–181.
- Sim L.A. Ein Rekonstruktionsversuch der neotectonischen Spannungsfelder nach structurell-geomorpholodische Methode in Deutschland: Regionale und Angewandte Geologiee in der Grenzregion der Sueddeutschen und der mitteldeutshen Scholle. Programm und Kurzfassung // Geowissenschaften e. V. Schmalkalden. 19 bis 22. Sept. 2001. Freiberg, 2001. P. 221–222.
- Steblov, G., Kogan M., King R., Scholz C., and Bürgmann R. Imprint of the North American plate in Siberia revealed by GPS // Geophys. Res. Lett. 2003. V. 30 (18). P. 1924. URL: https://doi:10.1029/2003GL017805.