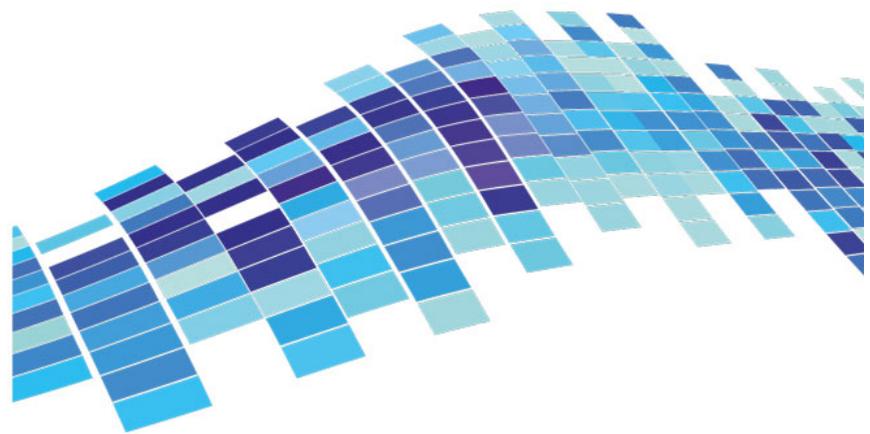


ISSN 2541-8912 (Print)  
ISSN 2713-2161 (Online)

# ГЕОСИСТЕМЫ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН



**GEOSYSTEMS**  
of Transition Zones

**2024 Том 8 № 4**

---

Решением Научно-экспертного совета Морской коллегии  
при Правительстве Российской Федерации  
доктор геолого-минералогических наук, доцент, член редколлегии  
нашего журнала, Ренат Белалович Шакиров награжден медалью  
«За достижения в морской науке».

Редколлегия и редакция журнала «Геосистемы переходных зон» поздравляют  
Рената Белаловича и его коллектив с этой неординарной наградой  
и желают ему дальнейших успехов в морских научных исследованиях  
и экспертной работе на международных площадках.



© Авторы, 2024 г.  
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors, 2024.  
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.24.03

<https://doi.org/10.30730/gtr.2024.8.4.277-297>  
<https://www.elibrary.ru/qiryvh>

## Тектонические напряжения юго-восточной части Горного Алтая

А. В. Маринин<sup>@</sup>, Л. А. Сим

<sup>@E-mail:</sup> [marinin@ifz.ru](mailto:marinin@ifz.ru)

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

**Резюме.** Полевыми тектонофизическими методами получены данные по напряженно-деформированному состоянию массива горных пород в районе Чуйской и Курайской впадин, расположенных в юго-восточной части Горного Алтая. Полученные в точках полевых наблюдений характеристики локальных стресс-тензоров использованы для определения усредненного регионального поля напряжений, ответственного за формирование региональной тектонической структуры. Тектоническое положение района в сложно построенном узле концентрации разрывных нарушений и различных палеофациальных зон определяет сложный характер единого усредненного поля напряжений. В области Чуйской и Курайской впадин выявлено северо-западное направление максимального горизонтального сжатия. Оно устанавливается на локальном уровне и на уровне усредненного поля напряжений по трем участкам наблюдений. Отклонение от генерального для Горного Алтая субмеридионального направления тектонического стресса и повышенное количество обстановок горизонтального растяжения по сравнению с другими областями Горного Алтая связано, на наш взгляд, со смещением по запад-северо-западным региональным праводвиговым структурам и изменением типа напряженного состояния внутри наложенных кайнозойских впадин. Подобные вариации характеристик поля напряжений отмечаются не только для реконструированных тектонических палеонапряжений, но и для изменений, происходящих в результате развития современных сейсмических процессов и связанных с ними землетрясений в этой активной в сейсмическом отношении области Горного Алтая.

**Ключевые слова:** Горный Алтай, Чуйская впадина, Курайская впадина, тектонические напряжения, разломная тектоника, разрывы, зеркала скольжения, реконструкция палеонапряжений

## Tectonic stress of the southeastern part of the Gorny Altai

Anton V. Marinin<sup>@</sup>, Lidiya A. Sim

<sup>@E-mail:</sup> [marinin@ifz.ru](mailto:marinin@ifz.ru)

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

**Abstract.** Data on the stress-strain state of the rocks in the area of the Chuya and Kuray depressions located in the southeastern part of the Gorny Altai were obtained using field tectonophysical methods. The characteristics of local stress tensors obtained at the field observation points were used to determine the averaged regional stress field responsible for the formation of the regional tectonic structure. The tectonic position of the area in a complex node of the concentration of faults and various paleofacial zones determines the nature of the single averaged stress field. In the area of the Chuya and Kuray depressions, the maximum horizontal compression was revealed, which is established at the local level and the level of the regional stress field of the three observation sites. The deviation from the submeridional direction of tectonic stress, which is general for the Gorny Altai, and the increased number of stress regimes of horizontal extension compared to other parts of the region are associated, in our opinion, with WSW regional dextral strike-slip structures and a change in the type of stress regime within the superimposed Cenozoic depressions. Such variations in the stress field characteristics are noted not only for paleostress inversion but also for the changes occurring as a result of the development of modern seismic processes and related earthquakes in this seismically active region of the Gorny Altai.

**Keywords:** Gorny Altai, Chuya depression, Kuray depression, tectonic stress, fault tectonics, slickenside, paleostress reconstruction (paleostress inversion)

**Для цитирования:** Маринин А.В., Сим Л.А. Тектонические напряжения юго-восточной части Горного Алтая. *Геосистемы переходных зон*, 2024, т. 8, № 4, с. 277–297. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2024.8.4.277-297>; <https://www.elibrary.ru/qiryvh>

### Финансирование и благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (№ FMWU-2022-0008).

Авторы выражают искреннюю благодарность своим коллегам, чьи материалы полевых наблюдений использованы при реконструкции тектонических напряжений в этой части Горного Алтая: И.В. Бондарю, Н.А. Гордееву, П.А. Каменеву, А.Р. Лукманову и др., а также Ю.Л. Ребескому, А.Ф. Еманову, А.А. Еманову и Е.В. Деву за помощь в организации полевых исследований на Горном Алтае.

### Введение

Наши исследования проведены в пределах юго-восточной части Горного Алтая, где 27.09.2003 г. произошло сильное Чуйское (Алтайское) землетрясение с  $M = 7.3$ . Тектонические напряжения района неоднократно исследовались различными геологическими методами, в частности с использованием геологических индикаторов палеонапряжений/деформаций [1–4]. Начатыми в 90-х годах прошлого века исследованиями определено основное направление тектонического стресса в регионе ССВ простирания. При этом для Курайской зоны разломов предполагалась эволюция от режима горизонтального сдвига к режиму горизонтального сжатия при сходном направлении стресса [1]. Полученные позднее данные палеостресс-анализа на бортах Чуйской и Курайской впадин установили ССВ направление (для 6 локальных стресс-тензоров) и СЗ направление (для 8 локальных стресс-тензоров) максимального горизонтального сжатия. Причем для ССВ направления устанавливаются обстановки горизонтального сжатия и сдвига, а для СЗ простирания преобладают горизонтальное растяжение и сдвиг [4]. После Чуйского землетрясения активно исследовались сейсмогенные деформации и поля напряжений региона. Отмечаются сходные структурные рисунки на диаграммах трещиноватости и реконструи-

**For citation:** Marinin A.V., Sim L.A. Tectonic stress of the southeastern part of the Gorny Altai. *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2024, vol. 8, No. 4, pp. 277–297. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2024.8.4.277-297>; <https://www.elibrary.ru/qiryvh>

### Funding and Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the state task of the Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS (No. FMWU-2022-0008).

The authors express their sincere gratitude to their colleagues, whose field observation materials were used in the reconstruction of tectonic stress in this part of the Gorny Altai: I.V. Bondar, N.A. Gordeev, P.A. Kamenev, A.R. Lukmanov, etc., as well as Yu.L. Rebetsky, A.F. Emanov, A.A. Emanov, and E.V. Deev for their assistance in organizing field research in the Gorny Altai.

руемые характеристики поля напряжений по замерам в коренных и рыхлых четвертичных отложениях. При этом определяется ССЗ простирание оси сжатия (с вариациями от широтного до меридионального направления) [3]. Проведенными исследованиями с использованием структурно-геоморфологического метода анализа разрывных нарушений в районе Чуйской и Курайской впадин установлено, что на новейшем этапе разломы деформируются при активном ССВ горизонтальном сжатии, при этом подчиненное значение имеют ССЗ и субмеридиональное направления сжатия [5, 6]. Исследование напряженно-деформированного состояния полевыми тектонофизическими методами интересно тем, что по данному региону получены подробные данные с использованием сейсмологических [7–10] и сеймотектонических методов [11]. В этой связи для проводимого исследования важны следующие вопросы: 1) насколько данные о тектонических напряжениях, получаемые на поверхности, соотносятся с данными по механизмам землетрясений; 2) как изменяются характеристики напряженно-деформированного состояния по площади.

Настоящая статья является продолжением работ авторов по изучению тектонических напряжений региона. Проведенные исследования показали существенную изменчивость

в ориентации осей главных напряжений и кинематике малых дизъюнктивов в пределах юго-восточной части Горного Алтая. Изменения типа напряженного состояния и ориентации осей главных напряжений происходят не только в разные тектонические эпохи, как это часто показывается при палеорекострукциях тектонических напряжений, но и в результате развития современных сейсмических процессов и связанных с ними землетрясений. Эти изменения часто обусловлены пространственным положением точки сбора информации, т.е. латеральными изменениями поля тектонических напряжений. Проблема интерпретации при реконструкциях палеонапряжений относительно недавно рассмотрена в статье [12]. В ней показано, что большинство определений, приведенных в работе [4], укладывается в параметры современного поля тектонических напряжений, а также предложен вариант интерпретации, опирающийся на выделение усредненного регионального поля напряжений по полученным локальным стресс-тензорам.

Целью данной работы является проведение реконструкции тектонических напряжений с использованием полевых тектонофизических данных и рассмотрение особенностей их интерпретации. Задачами исследования являлись: 1) определение параметров палеонапряжений по всем собранным в ходе полевых работ измерениям; 2) построение схем с направлением главных осей палеонапряжений, латерального горизонтального сжатия и типов напряженного состояния; 3) выделение сходных для всей исследованной территории характеристик напряженно-деформированного состояния и их сравнение с таковыми прилегающих районов; 4) выделение усредненного поля напряжений на отдельных участках наблюдения. По сравнению с предыдущими публикациями авторов исследование дополнено значительным количеством новых определений локальных стресс-тензоров в пределах Чуйской и Курайской впадин. Особое внимание уделено объединению полученных в локальных точках наблюдения данных о палеострессе в единое региональное поле напряжений.

## Геологическое строение района исследований

Район имеет сложное строение с сочленением разновозрастных складчатых и структурно-формационных зон [13]. Исследования проведены в юго-западной части Алтае-Салаиро-Монгольской складчатой области [14] со сложной складчато-блоковой структурой. Палеозойские структурно-формационные зоны представлены на территории исследования сложной мозаикой, объединяющей Ануйско-Чуйскую, Бийско-Катунскую, Уймено-Лебедскую и Телецко-Чулышманскую зоны. На структуры раннепалеозойского складчатого фундамента наложены слабо деформированные (иногда почти не затронутые деформациями) отложения прогибов, впадин и грабенов, которые выполнены преимущественно осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями палеозойского и кайнозойского возрастов [13]. Наложённые кайнозойские Чуйская и Курайская впадины разделены Чаган-Узунским (или Сукорским) массивом (блоком), сложенным докембрийскими и палеозойскими породами (рис. 1). Впадины ограничены на севере Курайской зоной разломов, а на юге Южно-Чуйским разломом [15].

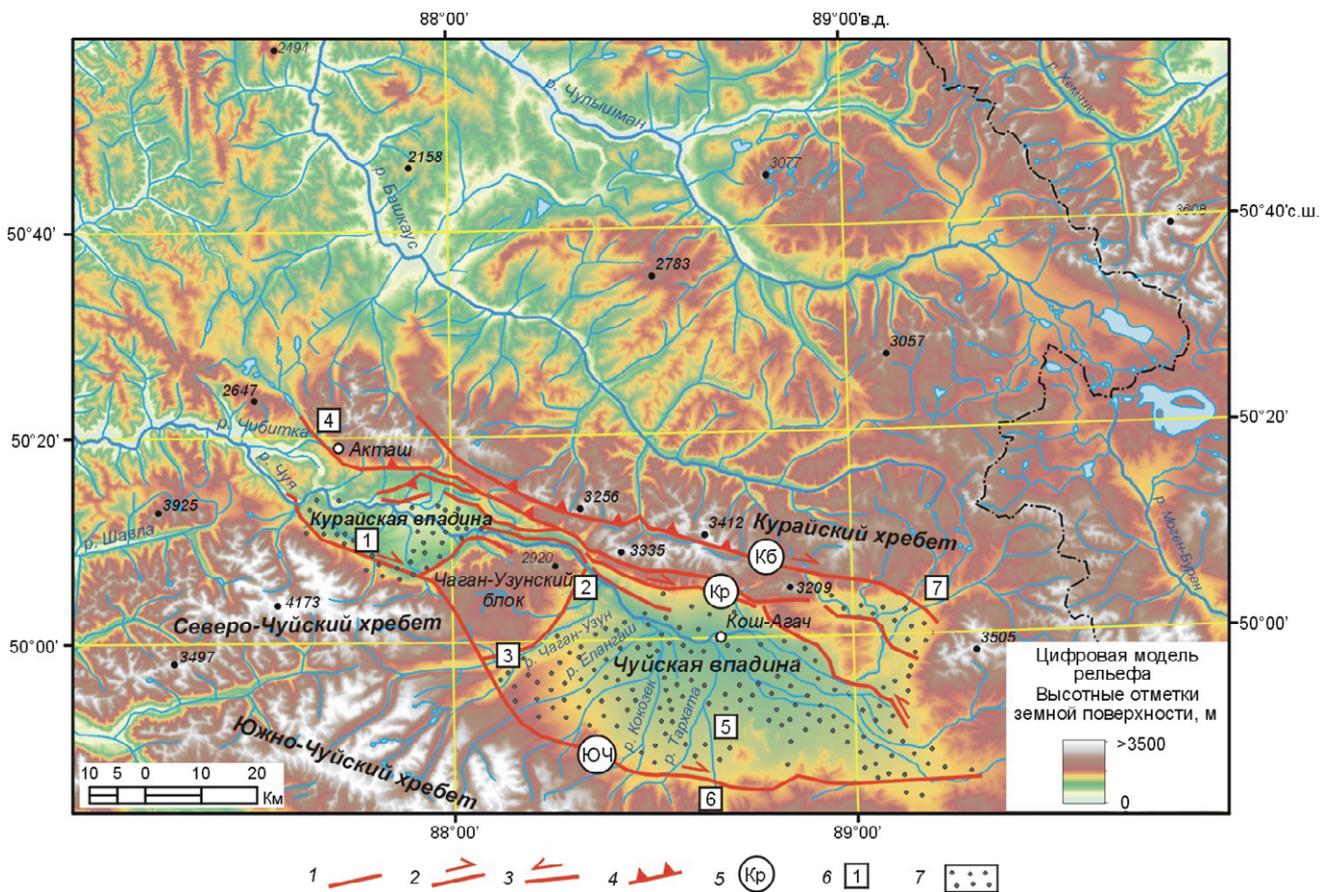
## Материалы и методы исследований

Материал наших исследований собран в районе Чуйской и Курайской впадин Горного Алтая в результате полевых тектонофизических работ 2018 и 2022 гг. Основные участки наблюдения: «Курай», «Чаган-Узун», «Бельтир» и «Джалгиз-Тобе» – расположены на бортах Чуйской и Курайской впадин (рис. 1), которые сложены преимущественно выходами палеозойских и местами допалеозойских образований. Для сравнения рассмотрены участки смежных районов «Акташ», «Бугузун» и «Чаган-Бургазы». Особое внимание было направлено на сбор, анализ и обработку данных по зеркалам скольжения. Основные сведения по ним собраны в породах допалеозойского и палеозойского возраста.

При полевых исследованиях и последующем определении напряженно-деформированного состояния задействованы структурно-парагенетический метод анализа малых дизъюнктивов [16] и метод катакластического анализа (МКА) разрывных смещений [17, 18]. По всем собранным данным с определением кинематики зеркал скольжения проведен расчет в программе STRESSgeol [17, 18], использующей алгоритмы МКА разрывных смещений. В результате получены параметры напряженно-деформированного состояния в каждой точке наблюдения: положение осей главных напряжений (минимальных ( $\sigma_1$ ), промежуточных ( $\sigma_2$ ) и максимальных ( $\sigma_3$ ) сжимающих напряжений), направление максимального горизонтального

сжатия, тип напряженного состояния и коэффициент Лоде–Надаи ( $\mu_\sigma$ ).

Для анализа полученных данных по точкам наблюдения задействован метод нахождения «общих» (усредненных) полей напряжений [19, 20], который основан на данных математического моделирования напряжений вокруг разрыва [21]. Согласно этим данным, на концах разрывов происходит изменение исходного «регионального» поля напряжений (рис. 2 А). В этом случае на стереограмме характер распределения выходов осей главных напряжений, определенных в окрестностях разрыва, можно описать конусом сжатия, в котором присутствуют оси максимального сжатия ( $\sigma_3$ ) и не наблюдаются оси растяжений ( $\sigma_1$ )



**Рис. 1.** Схема расположения участков исследований в районе Чуйской и Курайской впадин Горного Алтая. 1–3 – разрывные нарушения (по [15]): неопределенной кинематики (1), правые сдвиги (2), левые сдвиги (3); 4 – взбросы и надвиги; 5 – обозначения разрывных нарушений: Кб – Кубадринский разлом, Кр – Курайская зона разломов, ЮЧ – Южно-Чуйский разлом; 6 – обозначения участков исследований: 1 – «Курай», 2 – «Чаган-Узун», 3 – «Бельтир», 4 – «Акташ», 5 – «Джалгиз-Тобе», 6 – «Чаган-Бургазы», 7 – «Бугузун»; 7 – область выходов кайнозойских отложений.

**Fig. 1.** The scheme of the research area in the Chuya and Kuray depressions of the Gorny Altai. 1–3, faults (according to [15]): (1) kinematically indeterminate; (2) dextral strike-slip faults; (3) sinistral strike-slip faults; (4) reverse faults and thrust faults; (5) names of faults: Кб, Kubadrinsky fault; Кр, Kuray fault zone; ЮЧ, Yuzhno-Chuysky fault; (6) names of studied sites: 1, “Kuray”; 2, “Chagan-Uzun”; 3, “Beltir”; 4, “Aktash”; 5, “Dzalgiz-Tobe”; 6, “Chagan-Burgazy”; 7, “Buguzun”; (7) Cenozoic sediment output.

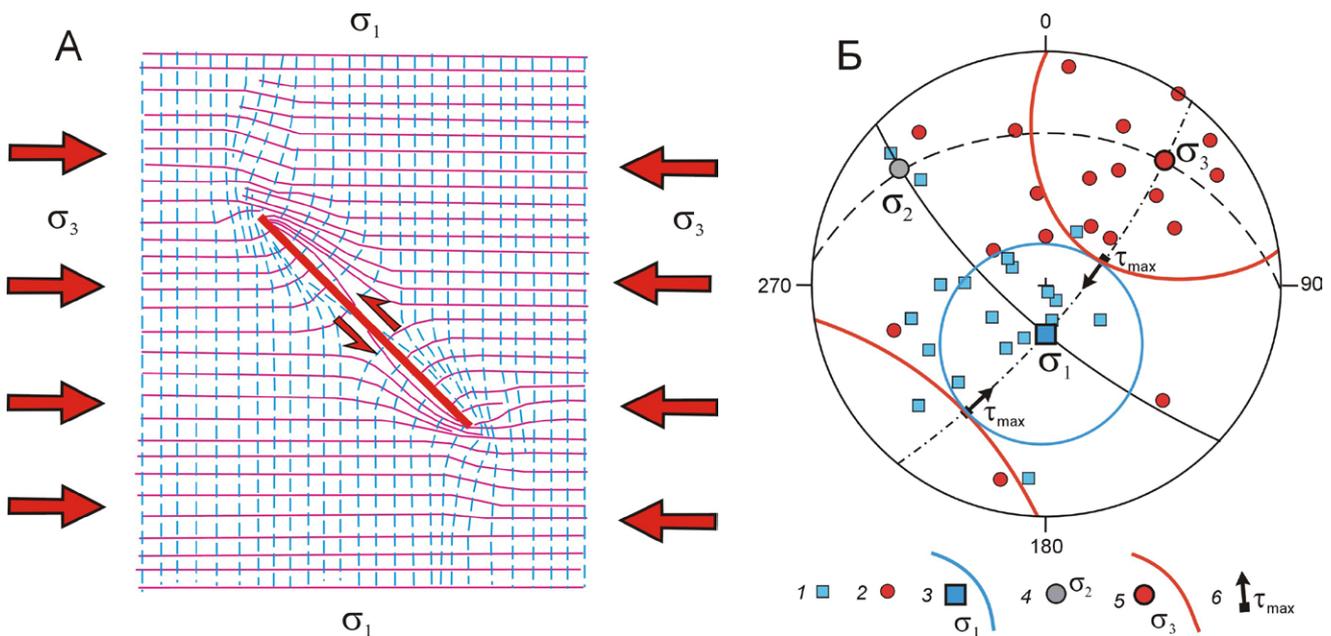
локальных стресс-тензоров, а также конусом растяжения, в котором имеются оси растяжения ( $\sigma_1$ ), но нет осей максимального сжатия ( $\sigma_3$ ) локальных стресс-тензоров (рис. 2 Б). Формирование этих локальных обстановок происходит в условиях усредненного (для определенного участка) или регионального поля напряжений.

Все локальные вариации напряженного состояния, вызванные смещением по разломам внутри заданного объема и определяемые в виде локальных стресс-тензоров при тектонофизической реконструкции, можно описать двумя конусами с углом при вершине  $90^\circ$ . Оси этих конусов взаимно перпендикулярны, точки их касания являются точками полюсов плоскостей действия максимальных касательных напряжений. Концентрация осей локальных стресс-тензоров в одноименных конусах может свидетельствовать либо о доминировании

обстановки растяжения в исследуемом объеме – если наблюдается в конусе растяжения (значение коэффициента Лоде–Надаи  $\mu_\sigma \approx -1$ ), либо об обстановке сжатия при концентрации осей сжатия локальных стресс-тензоров в одноименном конусе (коэффициент Лоде–Надаи  $\mu_\sigma \approx +1$ ). При относительно равномерном распределении осей локальных стресс-тензоров по площади стереограммы можно говорить на качественном уровне о трехосном напряженном состоянии со значениями коэффициента Лоде–Надаи около нуля (рис. 2 Б).

### Результаты определения тектонических напряжений в точках наблюдения

После предварительной обработки и расчета в программе STRESSgeol получены данные по 42 локальным стресс-тензорам



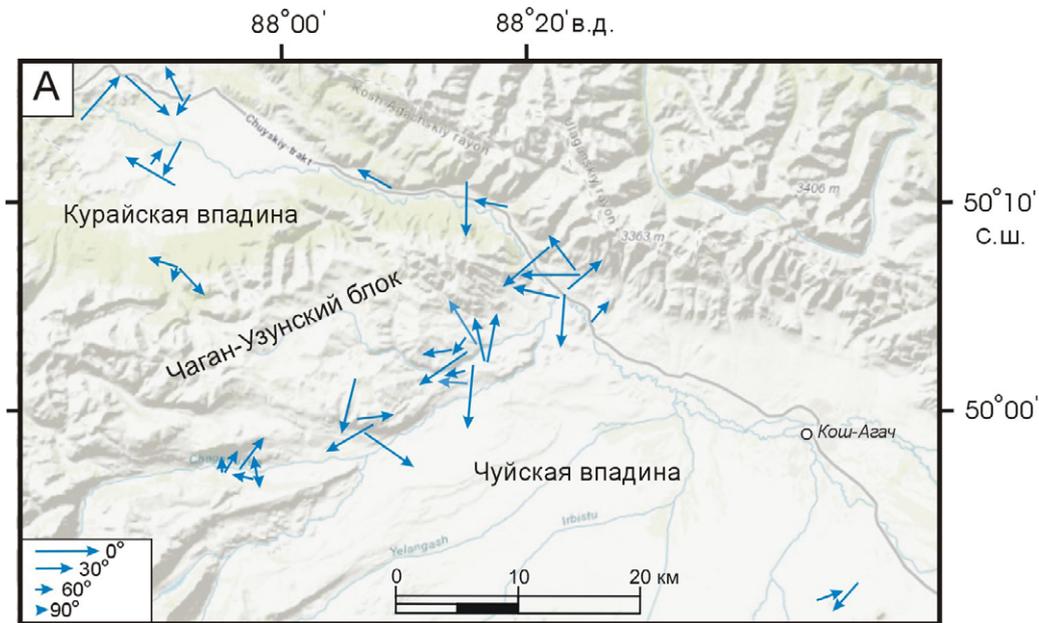
**Рис. 2.** (А) Траектории осей главных напряжений двумерного поля напряжений в окрестностях разрыва (левый сдвиг) после смещения его бортов. Оси и траектории максимального сжатия ( $\sigma_3$ ) и растяжения ( $\sigma_1$ ) показаны, соответственно, красным и синим цветом (по данным математического моделирования [21], с изменениями). (Б) Пример нахождения осей главных нормальных напряжений усредненного (регионального) поля напряжений в районе Воронцовского покрова на Западном Кавказе. На диаграмме (стереографическая проекция верхней полусферы) показаны: 1, 2 – оси главных напряжений локальных стресс-тензоров: 1 – минимальных ( $\sigma_1$ ), 2 – максимальных ( $\sigma_3$ ); 3–5 – положение полученных для усредненного поля напряжений конусов сжатия/растяжения и осей главных напряжений: 3 – минимальных ( $\sigma_1$ ), 4 – промежуточных ( $\sigma_2$ ), 5 – максимальных ( $\sigma_3$ ); 6 – полюсы плоскостей действия максимальных касательных напряжений.

**Fig. 2.** (A) The trajectories of principal stress axes of the two-dimensional stress field in the vicinity of the rupture (sinistral strike-slip fault) after the displacement of its sides. The axes and trajectories of maximum compression ( $\sigma_3$ ) and tension ( $\sigma_1$ ) are shown in red and blue, respectively (according to mathematical modeling data [21], with changes). (B) An example of finding the principal stress axes of the averaged (regional) stress field in the area of the Vorontsovsky nappe in the Western Caucasus (B). The stereoplot (stereographic projection of the upper hemisphere) shows: (1, 2) the principal stress axes of local stress tensors: 1, tension ( $\sigma_1$ ); 2, compression ( $\sigma_3$ ); (3–5) position of compression/tension cones and the principal stress axes obtained for the averaged stress field: 3, tension ( $\sigma_1$ ); 4, intermediate ( $\sigma_2$ ); 5, compression ( $\sigma_3$ ); (6) poles of the planes of maximum tangential stresses.

в 34 точках наблюдения, расположенных в пределах Чуйской и Курайской впадин и их бортов, а также разделяющего их Чаган-Узунского блока (участки «Чаган-Узун», «Бельтир» и «Курай»). Для сравнения приведены данные по расположенному к западу от Курайской впадины участку «Акташ» (район пос. Акташ, где расположена одноименная сейсмостанция). Здесь получено 54 определения локальных стресс-тензоров для 53 точек наблюдения. На смежных участках с севера («Бугузун») и юга («Чаган-Бургазы») сделано 16 и 7 определений соответственно. Результаты реконструкции приведены в таблице (см. приложение). Таблица содержит данные 119 определений по участкам:– «Курай» (1–10), «Чаган-Узун» (11–30), «Бельтир» (31–40), «Джалгиз-Тобе» (41, 42), «Акташ» (43–96), «Бугузун» (97–112) и «Чаган-Бургазы» (113–119). В ряде точек наблюдения выделено несколько этапов деформирования, которые обозначены буквенными индексами (А, Б, В). Выделение этапов в используемой нами для расчетов компьютерной программе STRESSgeol основано на принципе

разделения сколов на однородные выборки, которые определяют фазы квазиоднородного деформирования макрообъема. Принцип подчинен достижению максимальности суммарной энергии диссипации при минимальном количестве выделяемых фаз в рамках метода катакластического анализа разрывных смещений [17]. Расположенные в пределах близких обнажений точки наблюдения, имеющие несколько различную географическую привязку (координаты), маркировались одним номером с дополнительным цифровым индексом (см. таблицу, прил.). Измерения в близких пунктах проведены для установления выдержанности/изменчивости параметров напряженно-деформированного состояния в массиве горных пород, определяемых по геологическим стресс-индикаторам.

На построенных нами схемах с проекциями осей главных напряжений, направленными по их погружению (рис. 3 А, Б, В) в пределах рассматриваемого района Чуйской и Курайской впадин, видна значительная изменчивость в их положении. При этом даже в ближайших



**Рис. 3.** Оси минимальных сжимающих напряжений (А), промежуточных сжимающих напряжений (Б), максимальных сжимающих напряжений (В) района Чуйской и Курайской впадин. Показаны проекции осей со стрелками в сторону погружения, а их длина указывает на угол наклона оси: на врезке показана длина при наклоне в 0, 30, 60 и 90°. Здесь и на рисунках 4–6 использованы данные Arc GIS Earth для отображения рельефа.

**Fig. 3.** The axes of tension (A), the axes of intermediate stress (B), and the axes of maximum compression stress (B) in the area of the Chuya and Kuray depressions. Projections of the axes with arrows in the dip direction are shown, and their length indicates the angle of inclination of the axis: the inset shows the length at an inclination of 0, 30, 60, and 90°. In the figures 3–6, the ArcGIS Earth data are used to display the terrain.

друг к другу точках наблюдения (маркированных одним номером) иногда устанавливаются различающиеся положения осей главных напряжений (например, для приведенных в таблице точек наблюдения 22917-1 и 22917-2, 22900-1 и 22900-2).

Оси минимального сжатия (растяжения) погружаются в разных направлениях, с некоторым преобладанием погружения в юж-

ных румбах. Довольно много осей с большими углами погружения (короткие стрелки на рис. 3 А). Промежуточные оси ( $\sigma_2$ ) часто погружаются в широтном направлении, но есть также СЗ-ЮВ и СВ-ЮЗ направления погружения. Характерно, что для изученного района определено относительно немного промежуточных осей с субвертикальным погружением по сравнению с другими районами Горного

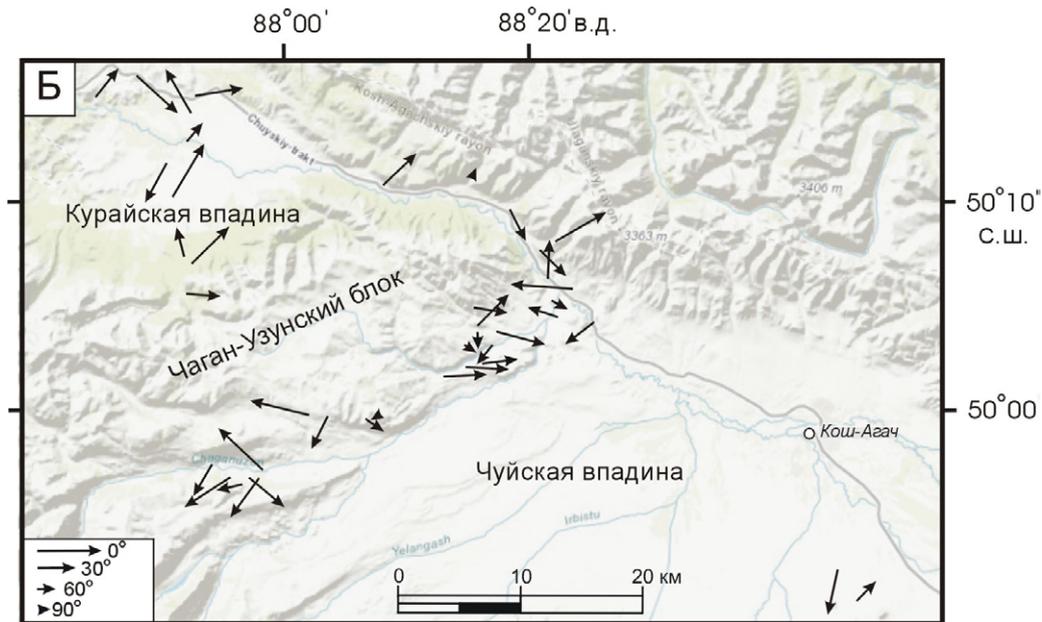


Рис. 3 (продолжение). (Б) Оси промежуточных сжимающих напряжений района Чуйской и Курайской впадин.  
Fig. 3 (continued). (B) The axes of intermediate stress in the area of the Chuya and Kuray depressions.

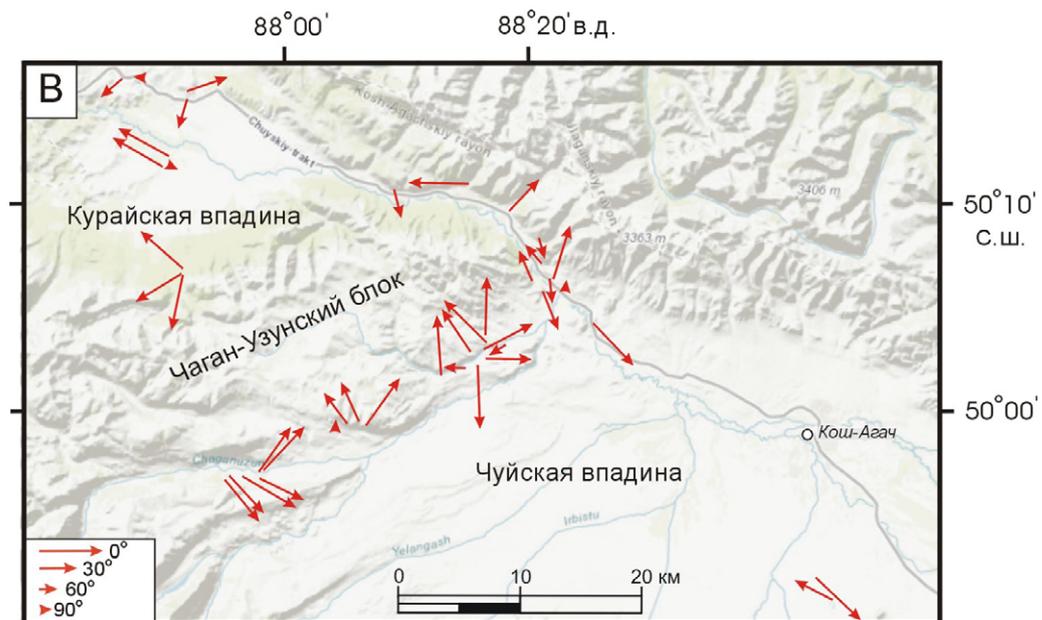


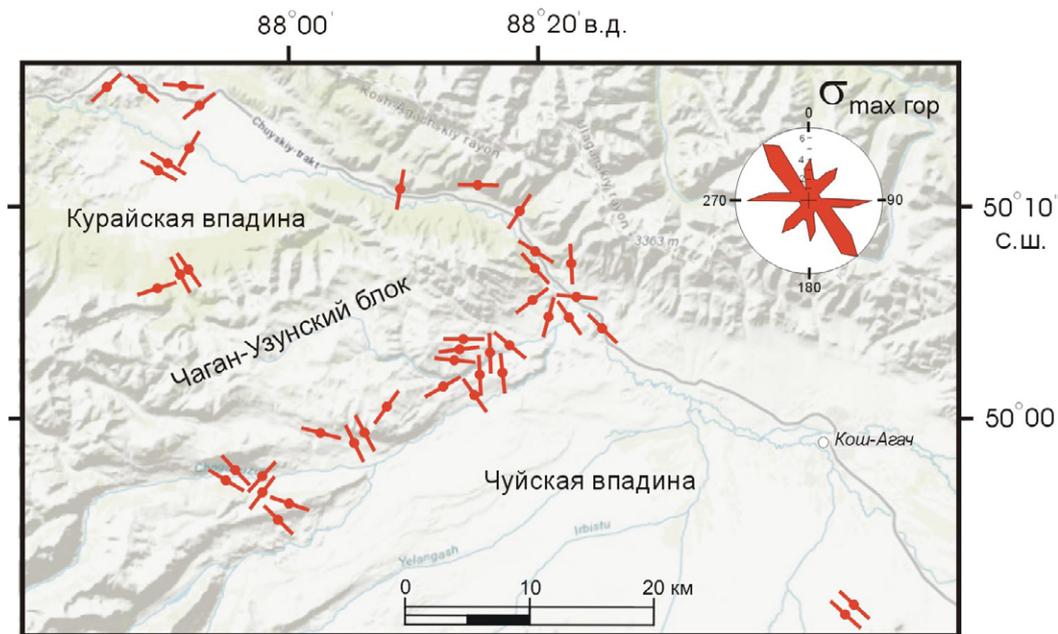
Рис. 3 (продолжение). (В) Оси максимальных сжимающих напряжений района Чуйской и Курайской впадин.  
Fig. 3 (continued). (B) The axes of maximum compression stress in the area of the Chuya and Kuray depressions.

Алтая, в которых устанавливается преобладание обстановок горизонтального сдвига, например для района долины р. Катунь [22]. Для осей максимального сжатия характерны пологие СЗ или ЮВ направления погружения, но также присутствуют СВ, ЮЗ и субмеридиональные направления.

В случае субвертикальной ориентации оси максимальных сжимающих напряжений ( $\sigma_3$ ) простираение ее проекции (стрелки на рис. 3 В) может существенно отличаться от простираения максимального горизонтального сжимающего напряжения (максимального горизонтального сжатия), которое по определению горизонтально ориентировано. Поэтому для лучшего понимания латеральной направленности тектонического стресса во всех точках наблюдения в районе Чуйской и Курайской впадин нами рассчитана ориентация оси максимального горизонтального сжатия (рис. 4). По полученным данным преобладает СЗ направление. Кроме того, на розе-диаграмме виден максимум с широтным положением оси, а также менее проявленные в рассматриваемом районе меридиональное и СВ простираение максимального горизонтального сжатия. Для соседнего участка «Акташ», напротив, резко преобладает СВ

направление максимального горизонтального сжатия. Участок расположен в месте пересечения разноплановых тектонических структур, относящихся к разным структурно-фациальным зонам. Полученные здесь определения локальных стресс-тензоров отличаются значительным разбросом, как по ориентации осей главных напряжений, так и по типам напряженного состояния.

Выделенные в пределах рассматриваемого района Чуйской и Курайской впадин на основе метода катакластического анализа этапы деформирования приведены на рис. 5. Каждый рассчитанный этап (А, Б, В) отличается от последующего числом использованных в выборке зеркал скольжения (в сторону уменьшения, см. таблицу). Таким образом, наиболее представительным по количеству наблюдаемых структур (зеркал скольжения) является этап деформирования А. В 6 точках наблюдения выделено по 2 этапа деформирования, а в одной точке – 3 этапа (рис. 5). Во всех подобных точках наблюдения с выделенными этапами в качестве одного из направлений латерального стресса присутствуют локальные стресс-тензоры с СЗ направлением сжатия (6 определений) или широтным (2 определения). Дру-



**Рис. 4.** Ориентировка оси максимального горизонтального сжатия в районе Чуйской и Курайской впадин. В правом верхнем углу роза-диаграмма направлений максимального горизонтального сжатия (по данным расчетов в программе STRESSgeol).

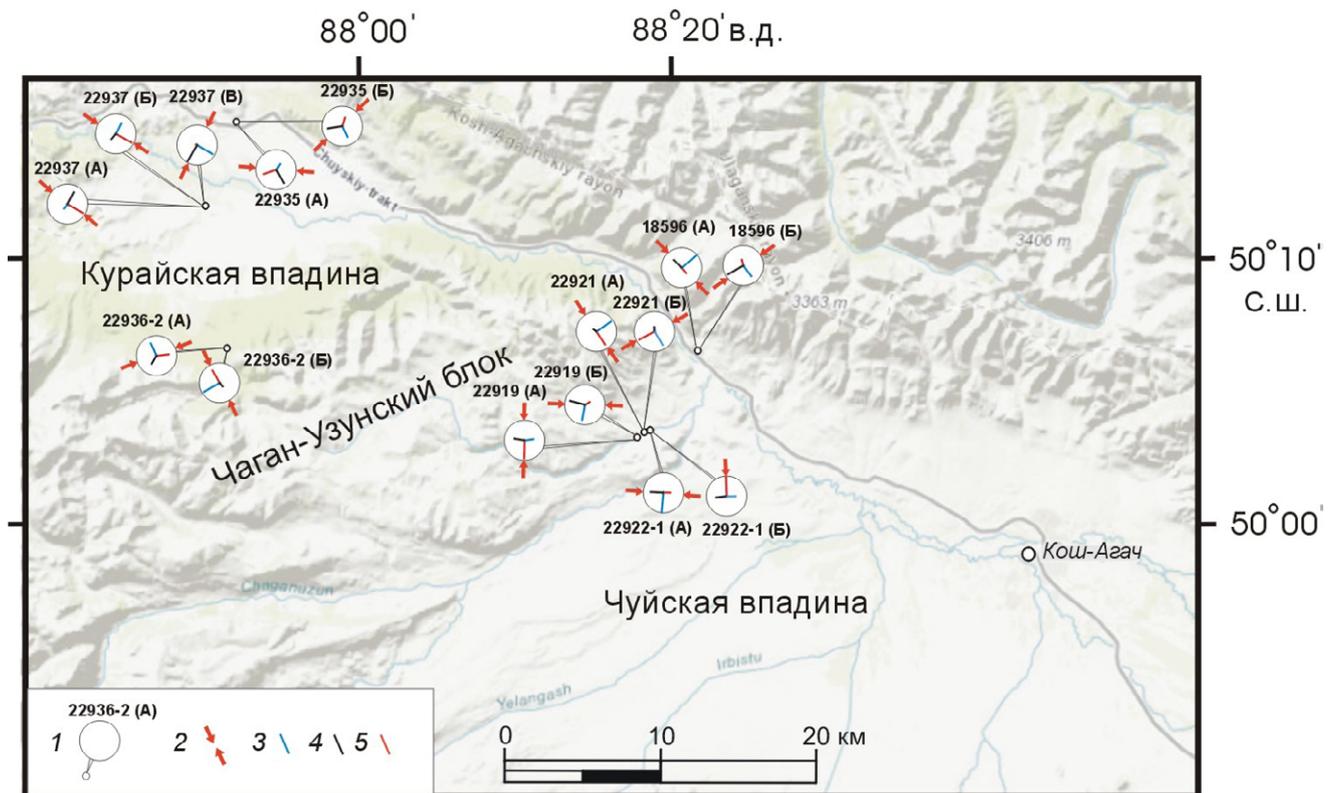
**Fig. 4.** Orientation of the maximum horizontal stress in the area of the Chuya and Kuray depressions. The rose diagram in the upper right corner shows the directions of maximum horizontal stress (according to calculations in the STRESSgeol program).

гие выделяемые простирания максимального горизонтального сжатия связаны с СВ (5 определений) и меридиональным (2 определения) направлениями. Меридиональное и широтное направления проявлены в 2 точках наблюдения и могут представлять своеобразную вариацию поля напряжений (оба определения оказываются развернутыми относительно большинства осей главных напряжений других стресс-тензоров). Собранных к настоящему времени данных недостаточно для выделения устойчивых структурных парагенезов, которые можно было бы связать с выделенными этапами и тем более определить их хронологическую последовательность. Отметим лишь, что полученные направления тектонического стресса фиксируются разными методами и для современного напряженного состояния.

На двух смежных участках (рис. 1, участки «Бугузун» и «Чаган-Бургазы»), располо-

женных непосредственно к северу от Чуйской впадины (долина р. Бугузун) и к югу от нее (долина р. Чаган-Бургазы), преобладают обстановки горизонтального сдвига (8 определений) и горизонтального сжатия (4 определения) соответственно. Следует отметить, что для участка «Бугузун» характерно ССЗ и реже – ВСВ простирание оси максимального сжатия. На участке «Чаган-Бургазы», как и в районе Чуйской и Курайской впадин, хорошо проявлено СЗ направление максимального сжатия, которое в южной части участка сменяется субширотным (ВСВ), но при этом уже промежуточная ось главных нормальных напряжений приобретает СЗ ориентацию.

Среди типов напряженного состояния практически в равном соотношении представлены обстановки горизонтального сдвига, горизонтального растяжения и горизонтального сжатия (рис. 6). Надо отметить, что в рассма-



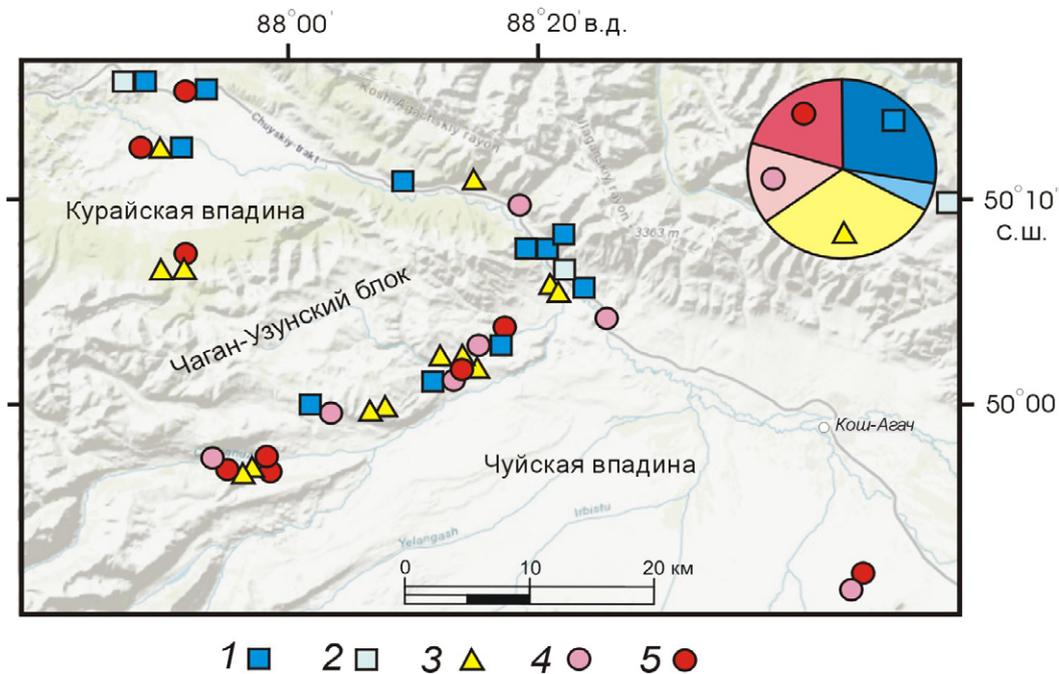
**Рис. 5.** Точки наблюдения с выделенными этапами деформирования в районе Чуйской и Курайской впадин Горного Алтая. 1 – положение точки наблюдения и выделенные этапы (А, Б и В) на круговых диаграммах (стереографическая проекция на верхнюю полусферу); 2 – направление максимального горизонтального сжатия; 3–5 – оси главных сжимающих напряжений: 3 – минимальных ( $\sigma_1$ ), 4 – промежуточных ( $\sigma_2$ ), 5 – максимальных ( $\sigma_3$ ).

**Fig. 5.** Observation points with selected deformation stages in the area of the Chuya and Kuray depressions in the Gorny Altai. (1) the position of the observation point and marked stages (A, B, and B) on the stereoplot (stereographic projection onto the upper hemisphere); (2) the direction of maximum horizontal stress; (3–5) the principal stress axes: (3)  $\sigma_1$ , tension; (4)  $\sigma_2$ , intermediate; (5)  $\sigma_3$ , compression.

триваемом районе (участки «Курай», «Чаган-Узун» и «Бельтир») существенно выше роль горизонтального растяжения по сравнению с расположенным западнее участком «Акташ», где подавляющая часть обстановок (46 из 54) связана с горизонтальным сдвигом и горизонтальным сжатием (и их сочетаниями). В ближайшем районе к северу (участок «Бугузун») преобладает обстановка горизонтального сдвига. Еще севернее, в долине р. Катунь, установлено более существенное преобладание обстановок горизонтального сдвига [22]. К югу от Чуйской впадины (участок «Чаган-Бургазы») преобладают обстановки горизонтального сжатия и горизонтального растяжения. Можно сделать вывод, что проведенная реконструкция палеонапряжений выявила особенность развития исследуемой области, состоящую в широком распространении горизонтального растяжения в пределах Чуйской и Курайской впадин и непосредственного их обрамления. Чуть в отдалении от этих впадин к югу преобладают

обстановки горизонтального сжатия, а к северу – горизонтального сдвига.

Выявленное соотношение типов напряженного состояния с более существенной (по сравнению с соседними участками) ролью обстановок горизонтального растяжения может отвечать формированию этих крупнейших впадин Горного Алтая – Чуйской и Курайской, что отмечалось для впадин и ранее, при реконструкции тектонических напряжений по сейсмологическим данным [10]. Однако для полученных нами результатов по полевым данным здесь отмечается именно большая представительность этого типа (горизонтального растяжения) по сравнению с другими участками, но обстановки горизонтального сжатия и сдвига также распространены. В то же время по результатам реконструкции тектонических напряжений по сейсмологическим данным во впадинах целиком преобладает горизонтальное растяжение. Это различие может быть объяснено тем, что данные полевых исследований захватывают прилегающие к впадинам области поднятий.



**Рис. 6.** Распределение типов напряженного состояния в районе Чуйской и Курайской впадин Горного Алтая: 1 – горизонтальное растяжение; 2 – горизонтальное растяжение в сочетании со сдвигом; 3 – горизонтальный сдвиг; 4 – горизонтальное сжатие в сочетании со сдвигом; 5 – горизонтальное сжатие. В правом верхнем углу диаграмма соотношения типов напряженного состояния в целом по району.

**Fig. 6.** Distribution of the stress regimes in the area of the Chuya and Kuray depressions in the Gorny Altai: (1) horizontal extension; (2) horizontal extension with shear; (3) horizontal shear; (4) horizontal compression with shear; (5) horizontal compression. The diagram in the upper right corner indicates the ratio of stress regime types in the whole area.

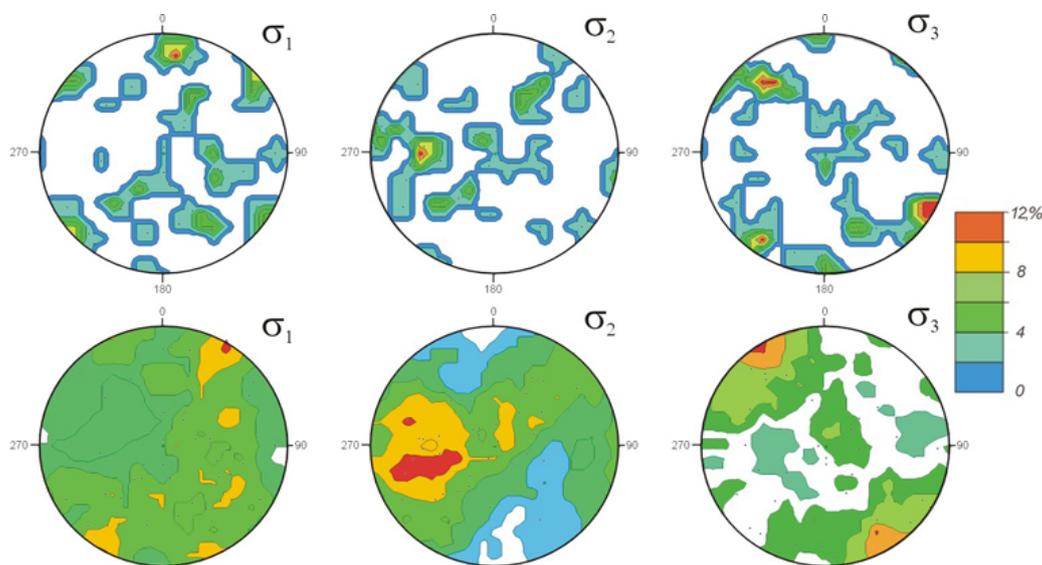
Полученных к настоящему времени сведений недостаточно, чтобы установить закономерности внутреннего строения Чуйской и Курайской впадин и дифференцировать составляющие их блоки, особенно если учесть, что полевые тектонофизические данные по напряженному состоянию массива горных пород можно получить лишь в бортах и на небольших не перекрытых кайнозойскими осадками выступами этих впадин. Однако следует отметить, что в некоторых районах преобладают обстановки горизонтального сжатия и сдвига – это участок «Бельтир» и южная часть Курайской впадины, а в районе селения Чаган-Узун довольно большая концентрация обстановок горизонтального растяжения.

Установленные характеристики палеообстановок напряженно-деформированного состояния в структурах обрамления Чуйской и Курайской впадин Горного Алтая по ориентации осей главных напряжений (рис. 7) близки к определениям современного поля напряжений локального уровня (для определенных временных интервалов), полученным на

основе сейсмологических данных [7–10, 23]. По многим установленным характеристикам (ориентация осей главных напряжений и тип напряженного состояния) они либо сходны с данными полевых тектонофизических работ [3, 4], либо укладываются в наблюдаемые по нашим данным вариации.

### Результаты реконструкции общих (усредненных) тектонических напряжений

Нами предпринята попытка определения усредненных параметров напряжений методом нахождения «общего», или усредненного поля напряжений по данным о локальных стресс-тензорах [19, 20]. Особенностью изучения тектонических напряжений является измерение индикаторов напряжений практически исключительно в палеозойских породах, не дающих возможности расчленять разновозрастные поля напряжений. Определение усредненного регионального поля напряжений также осложняется отмеченным сложным тек-



**Рис. 7.** Ориентировка осей главных напряжений для локальных стресс-тензоров района Чуйской и Курайской впадин (участки «Курай», «Чаган-Узун», «Бельтир» и «Джалгиз-Тобе»). На круговых диаграммах показаны выходы осей главных напряжений ( $\sigma_1$  – минимальных сжимающих (растяжения),  $\sigma_2$  – промежуточных и  $\sigma_3$  – максимальных сжимающих) с изолиниями плотности выходов на картинную плоскость (в стереографической проекции верхней полусферы; на шкале приведена относительная плотность точек выходов осей). Верхний ряд построен с использованием метода 1% площади, нижний – метода «Камб» (с использованием программы Stereonet).

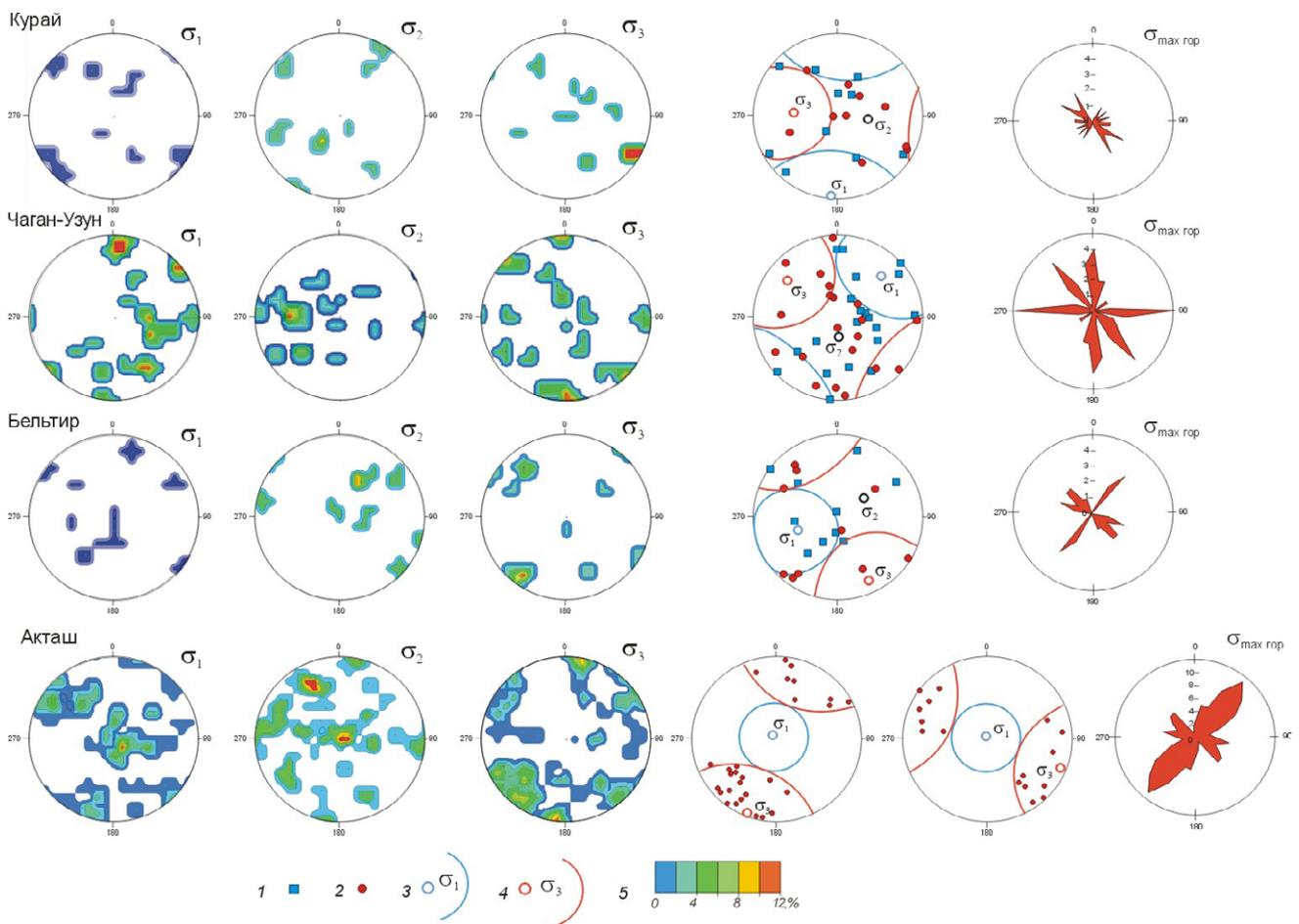
**Fig. 7.** Orientation of the principal stress axes of the local stress tensors in the area of the Chuya and Kuray depressions (“Kuray”, “Chagan-Uzun”, “Beltir”, and “Dzalgiz-Tobe”). Stereoplots show the outputs of the principal stress axes:  $\sigma_1$ , minimum tension;  $\sigma_2$ , intermediate; and  $\sigma_3$ , maximum compression, with the isolines of density of the outputs on the picture plane (stereographic projection onto the upper hemisphere; the scale shows the relative density of axes output points). The upper row is built using the 1% area method, the lower row is built using the Kamb method (using the Stereonet program).

тоническим строением региона исследования с концентрацией разных палеофациальных и тектонических зон.

Из-за значительного разнообразия ориентировок главных нормальных напряжений, восстановленных полевыми методами на Горном Алтае [5, 22], при определении осей сжатия и растяжения усредненного регионального поля напряжений в конусах сжатия и растяжения было принято, что ошибка определения осей локальных стресс-тензоров может достигать 10° (в отдельных случаях допускалось

отклонение до 15°). Это означает, что в конус сжатия (растяжения) могут попадать определения осей локальных стресс-тензоров, находящиеся в пределах 10–15° от границ конусов.

В результате реконструированы усредненные характеристики регионального поля напряжений для четырех участков. На рис. 8 приведены диаграммы с усредненными полями напряжений с разной представительностью локальных стресс-тензоров. Наиболее простые определения осей главных нормальных напряжений получены для небольших по



**Рис. 8.** Тектонические напряжения района Чуйской и Курайской впадин. На круговых диаграммах (стереографическая проекция на верхнюю полусферу) показаны выходы осей главных напряжений (первые три колонки слева), результаты определения усредненного поля напряжений (четвертая колонка) и розы-диаграммы направлений максимального горизонтального сжатия (пятая колонка). Условные обозначения: 1, 2 – оси главных напряжений локальных стресс-тензоров: (1)  $\sigma_1$ , растяжения; (2)  $\sigma_3$ , сжатия; (3, 4) – положение полученных для усредненного поля напряжений конусов сжатия/растяжения и осей сжимающих напряжений: (3)  $\sigma_1$ , минимальных; (4)  $\sigma_3$ , максимальных; 5 – шкала относительной плотности точек выходов осей на стереограммах (по методу 1% площади; построено с использованием программы Stereonet).

**Fig. 8.** Tectonic stress in the area of the Chuya and Kurai depressions. Stereoplots (stereographic projection onto the upper hemisphere) show the outputs of the principal stress axes (the first three columns on the left); the results of determining the average (regional) stress field (fourth column); roses-diagrams of the directions of maximum horizontal stress (fifth column). Symbols: (1, 2) the principal stress axes of local stress tensors: (1)  $\sigma_1$ , tension; (2)  $\sigma_3$ , compression; (3, 4) position of compression/tension cones and the principal stress axes of the regional stress field: (3)  $\sigma_1$ , tension; (4)  $\sigma_3$ , compression; (5) the scale shows the relative density of axes output points on stereograms (using the 1% area method; built using the Stereonet program).

площади участков, охарактеризованных малым количеством локальных стресс-тензоров. Для участков «Курай» и «Бельтир», имеющих по 10 определений локальных стресс-тензоров, а также для участка «Чаган-Узун» (20 определений локальных стресс-тензоров) конусы сжатия и растяжения определены практически без противоречий. Некоторое исключение из них представляет участок «Бельтир», где одно определение оси растяжения попало в конус растяжения на расстоянии  $18^\circ$  от границы конуса (рис. 8, участки «Бельтир» и «Чаган-Узун»).

Наиболее сложным для интерпретации представляется поле тектонических напряжений участка «Акташ», в котором определено 54 локальных стресс-тензора. На участке при определении усредненного поля напряжений наиболее четко выделяется практически вертикальная ось растяжения (азимут погружения  $148 \angle 85$ ). В конус растяжения не попадает ни одно определение оси сжатия локальных стресс-тензоров, а количество осей растяжения составляет 23 из 54 возможных определений (рис. 8). Горизонтальные оси сжатия по площади сменяются горизонтальными промежуточными осями главных напряжений. Смену близких по значению осей главных напряжений неоднократно наблюдали исследователи, в частности, при моделировании складок и разрывов [24].

Значительное количество локальных стресс-тензоров на участке «Акташ» привело к большому числу противоречий в двух вариантах нахождения конусов сжатия. Так, в первом усредненном поле напряжений в конусе сжатия с ССВ ориентировкой (Аз погружения  $20 \angle 3$ ) пять осей растяжения противоречат найденной оси сжатия, во втором – в конус сжатия с субширотным направлением (Аз погружения  $291 \angle 5$ ) попадают 7 локальных осей растяжения. На участке «Акташ», таким образом, выделяется два региональных поля напряжений по методу выделения усредненного регионального поля напряжений (рис. 8).

В итоге при совместном анализе всех осей сжатия и растяжения региональных тектонических напряжений в районе Чуйской и Ку-

райской впадин, восстановленных полевыми методами, получилось, что доминируют пологие ориентировки осей сжатия СЗ простирания с углами наклона  $25\text{--}30^\circ$  (3 определения), а также есть ЗСЗ (1 определение) и СВ (1 определение) направления оси сжатия. Ориентация осей растяжения субширотная, образующая поясное распределение, с углами наклона от  $10$  до  $70^\circ$ . Совместный анализ всех «общих» тектонических напряжений дал возможность определить СЗ ориентацию оси сжатия (азимут погружения  $130\text{--}135 \angle 20\text{--}25$ ) и ось растяжения с погружением на север (под углом  $60^\circ$ ).

Используя данные полевых тектонофизических исследований для района долины р. Катунь [22], по 40 определениям локальных стресс-тензоров можно получить усредненное поле напряжений с меридиональной осью сжатия (ССВ  $11 \angle 22$ ) и широтной осью растяжения (ЗСЗ  $278 \angle 12$ ). Эти результаты близки к региональному полю напряжений, полученному на основе реконструкции по сейсмологическим данным [10].

Согласно работе [8], Чуйское (Алтайское) землетрясение произошло в пределах Чаган-Узунского блока в обстановке горизонтального сдвига с меридиональной осью максимального сжатия. Оси максимального сжатия ( $\sigma_3$ ) в Курайской впадине (северо-западный сегмент афтершоковой области) имеют СВ-ЮЗ простирание (ортогонально разрывам) и погружаются на СВ. В Чуйской впадине оси максимального сжатия ( $\sigma_3$ ) имеют более крутое погружение. При этом оси  $\sigma_3$  погружаются на ЮЗ, оси  $\sigma_1$  на СВ. На локальном уровне довольно многие оси максимального сжатия ( $\sigma_3$ ) на территории исследуемого района имеют северо-западную ориентацию [8], которая совпадает с полученной по результатам нашей реконструкции.

Следует также отметить, что проведенные исследования современных деформаций земной коры Горного Алтая по данным ГНСС-наблюдений показывают укорочение в ССВ направлении и удлинение в ЗСЗ-ВЮВ направлении, но имеются отдельные участки региона, где укорочение происходит в СЗ направлении [25, 26].

## Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что для большинства полученных нами определений в районе Чуйской и Курайской впадин оси максимальных сжимающих напряжений полого погружаются в северо-западном или юго-восточном направлении. Северо-западная ориентация максимального горизонтального сжатия в районе Чуйской и Курайской впадин выявляет себя на локальном уровне как в реконструированных локальных стресс-тензорах, так и в современном напряженном состоянии, полученном по сейсмологическим данным. Для трех участков наблюдения («Курай», «Чаган-Узун» и «Бельтир») северо-западное направление максимального сжатия хорошо соответствует усредненному региональному полю напряжений этих участков. Выделенное направление совпадает с максимумами на плотностных стереограммах выходов осей главных напряжений и розах-диаграммах с простираемением максимального горизонтального сжатия, построенных по участкам наблюдений.

На представленных в работе схемах с ориентировками осей главных напряжений прослеживается их закономерная ориентация в близко расположенных точках наблюдения (плавное изменение азимутов и углов погружения в территориально близких определениях). Встречающиеся разнонаправленные ориентировки, предположительно, свидетельствуют о наложении разных структурных планов, так как изученная область находится на стыке разных тектонических зон.

В области Чуйской и Курайской впадин преобладают обстановки горизонтального сжатия и сдвига, кроме того, большое значение имеют обстановки горизонтального растяжения. Количество последних существенно выше, чем в других областях Горного Алтая. Отметим, что Чуйская и Курайская впадины являются крупнейшими молодыми впадинами Алтая, что и отразилось в обстановках растяжения, восстановленных в пределах этих структур.

Формирование подобной обстановки на этих участках в общей структуре поля напряжений Горного Алтая (характеризующейся

субмеридиональным направлением максимального сжатия) связано, на наш взгляд, со смещением по запад-северо-западным региональным праводвиговым структурам и изменением типа напряженного состояния внутри наложенных кайнозойских впадин.

## Список литературы

1. Дельво Д., Тениссен К., Ван-дер-Мейер Р., Берзин Н.А. **1995**. Динамика формирования и палеостресс при образовании Чуйско-Курайской депрессии Горного Алтая: тектонический и климатический контроль. *Геология и геофизика*, 36(10): 31–51.
2. Dobretsov N.L., Buslov M.M., Delvaux D., Berzin N.A., Ermikov V.D. **1996**. Meso-Cenozoic tectonics of the Central Asian Mountain Belt: effects of lithospheric plate interaction and mantle plumes. *International Geology Review*, 38: 430–466. <https://doi.org/10.1080/00206819709465345>
3. Лунина О.В., Гладков А.С., Новиков И.С., Агатова А.Р., Высоцкий Е.М., Еманов А.А. **2006**. Сейсмогенные деформации и поля напряжений в разломной зоне Чуйского землетрясения 2003 г., Ms = 7.5 (Горный Алтай). *Геотектоника*, 3: 52–69.
4. Delvaux D., Cloetingh S., Beekman F., Sokoutis D., Burov E., Buslov M.M., Abdrakhmatov K.E. **2013**. Basin evolution in a folding lithosphere: Altai–Sayan and Tien Shan belts in Central Asia. *Tectonophysics*, 602: 194–222. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.01.010>
5. Маринин А.В., Сим Л.А., Мануилова Е.А., Бондарь И.В., Гордеев Н.А. **2022**. Новейшее напряженное состояние Чуйско-Курайской впадины и прилегающих структур (юго-восточная часть Горного Алтая). *Наука и технологические разработки*, 101(3): 33–52.
6. Сим Л.А., Сычева Н.А., Гордеев Н.А. **2023**. Неотектонические и современные напряжения юго-восточного Алтая. *Геофизические процессы и биосфера*, 22(4): 98–110.
7. Омар Х., Арефьев С.А., Ребецкий Ю.Л. **2012**. Механизмы афтершоков 2004–2005 гг. и напряженное состояние очаговой области Алтайского землетрясения 2003 г. *Геофизические исследования*, 13(3): 56–73. EDN: PEVQLH
8. Лескова Е.В., Еманов А.А. **2013**. Иерархические свойства поля тектонических напряжений в очаговой области Чуйского землетрясения 2003 года. *Геология и геофизика*, 54(1): 113–123.
9. Кучай О.А. **2012**. Особенности поля напряжений афтершоковых процессов землетрясений Алтае-Саянской горной области. *Геодинамика и тектонофизика*, 3(1): 59–68. <https://doi.org/10.5800/GT-2012-3-1-0062>

10. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. **2013**. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саянской горной области. *Геология и геофизика*, 54(2): 271–291.
11. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. **2021**. Очаг сильного землетрясения как геологический объект. *Геотектоника*, 3: 3–30. <https://doi.org/10.31857/S0016853X21030073>; EDN: JEOTKR
12. Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В., Сим Л.А. **2019**. Проблема интерпретации результатов тектонофизической реконструкции палеонапряжений и возможные пути ее решения. *Геология и геофизика*, 60(6): 860–880.
13. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). **2011**. Сер. Алтае-Саянская. Лист М-45 – Горно-Алтайск: Объяснительная записка. Авт.: Федак С.И., Туркин Ю.А., Гусев А.И., Шокальский С.П., Русанов Г.Г., Борисов Б.А., Беляев Г.М., Леонтьев Е.М. СПб.: ВСЕГЕИ, 567 с.
14. Тектоническая карта на территорию России, увязанная с материалами по странам СНГ. Масштаб 1:2 500 000. **2008**. Гл. ред. О.В. Петров, Ю.Г. Леонов, ред. С.П. Шокальский. СПб.: ВСЕГЕИ, ВНИИ Океангеология.
15. Деев Е.В., Крживоблоцкая В.Е., Бородовский А.П., Энтин А.Л. **2022**. Активные разломы и поверхностные разрывы позднеголоценовых землетрясений в обрамлении Кокоринской впадины (Горный Алтай, Россия). *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, 506(1): 299–305. DOI: 10.31857/S2686739722600795; EDN: ECZYKD
16. Расцветаев Л.М. **1987**. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений. В кн.: *Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов*. М.: ГИН АН СССР, ч. 2, с. 173–235.
17. Ребецкий Ю.Л. **2007**. *Тектонические напряжения и прочность горных массивов*. М.: Академкнига, 406 с.
18. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. **2017**. *От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям: Методы и алгоритмы*. М.: ГЕОС, 225 с.
19. Сим Л.А. **1982**. Определение регионального поля по данным о локальных напряжениях на отдельных участках. *Изв. вузов. Геология и разведка*, 4: 35–40.
20. Сим Л.А. **2000**. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Европы. В кн.: *М.В. Гзовский и развитие тектонофизики*. М.: Наука, с. 326–350.
21. Осокина Д.Н. **1987**. Взаимосвязь смещений по разрывам с тектоническими полями напряжений и некоторые вопросы разрушения горного массива. В кн.: *Поля напряжений и деформаций в земной коре*. М.: Наука, с. 120–135.
22. Тверитинова Т.Ю., Маринин А.В., Деев Е.В. **2023**. Геодинамика Катунского разлома (Горный Алтай) по структурно-кинематическим данным. *Вестн. Московского университета. Сер. 4, Геология*, 1: 46–59.
23. Лескова Е.В. **2013**. *Пространственно-временная структура и поле тектонических напряжений афтершоковой области Чуйского землетрясения 2003 г. (по данным мониторинга 2003–2012 гг.)*: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 17 с.
24. Михайлова А.В. **2007**. Геодинамические характеристики структур, образовавшихся в слое над активными разломами фундамента (по данным тектонофизического моделирования). В кн.: *Геофизика XXI столетия: Сб. трудов 8-х геофизических чтений им В.В. Федынского, 2–4 марта 2006 г.* М.: ИНТЕК-ГЕОН, с. 111–118.
25. Мансуров А.Н. **2023**. Расчет распределения современных деформаций земной коры для территории Горного Алтая, Саян и Казахской платформ по данным космогеодезических наблюдений. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*, 10(2): 53–58.
26. Мансуров А.Н. **2024**. Согласование каталогов скоростей трех ГНСС сетей Алтая, Саян, Монголии и Восточного Казахстана для расчета распределения тензора скорости деформации земной коры на этой территории. В кн.: *Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов*: Тез. докл. IX Междунар. симпозиума. Бишкек, с. 96–99.

## References

- Delvaux D., Theunissen K., Van der Meer R., Berzin N. **1995**. Dynamics and paleostress of the Cenozoic Kurai-Chuya depression of Gorny Altai (South Siberia): Tectonic and climatic control. *Russian Geology and Geophysics*, 36(10): 26–45.
- Dobretsov N.L., Buslov M.M., Delvaux D., Berzin N.A., Ermikov V.D. **1996**. Meso-Cenozoic tectonics of the Central Asian Mountain Belt: effects of lithospheric plate interaction and mantle plumes. *International Geology Review*, 38: 430–466. <https://doi.org/10.1080/00206819709465345>
- Lunina O.V., Gladkov A.S., Novikov I.S., et al. **2006**. Seismotectonic deformations and stress fields in the fault zone of the 2003 Chuya earthquake, Ms = 7.5, Gorny Altai. *Geotectonics*, 40(3): 208–224. <https://doi.org/10.1134/S0016852106030058>
- Delvaux D., Cloetingh S., Beekman F., Sokoutis D., Burov E., Buslov M.M., Abdrakhmatov K.E. **2013**. Basin evolution in a folding lithosphere: Altai–Sayan and

- Tien Shan belts in Central Asia. *Tectonophysics*, 602: 194–222. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.01.010>
5. Marinin A.V., Sim L.A., Manuilova E.A., et al. **2022**. Neotectonic stress state of the Chuya-Kurai depression and adjacent structures (Southeastern Altai Mountains). *Seismic Instruments*, 58(Suppl 2): S345–S355. <https://doi.org/10.3103/S0747923922080096>
  6. Sim L.A., Sycheva N.A., Gordeev N.A. **2023**. Neotectonic and modern stresses of the south-eastern Altai. *Izv., Atmospheric and Oceanic Physics*, 59: 1750–1761. <https://doi.org/10.1134/s0001433823110051>
  7. Omar Kh.M., Arefiev S.S., Rebetskiy Yu.L. **2012**. Mechanisms of aftershocks of 2004–2005 years and stress-state in the source region of Altai, 2003, earthquake. *Geophysical Research*, 13(3): 56–73. (In Russ.).
  8. Leskova E.V., Emanov A.A. **2013**. Hierarchical properties of the tectonic stress field in the source region of the 2003 Chuya earthquake. *Russian Geology and Geophysics*, 54(1): 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.12.00>
  9. Kuchai O.A. **2012**. Specific features of fields of stresses associated with aftershock processes in the Altai-Sayan mountainous region. *Geodynamics & Tectonophysics*, 3(1): 59–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/gt-2012-3-1-0062>
  10. Rebetskiy Yu.L., Kuchai O.A., Marinin A.V. **2013**. Stress state and deformations of the Earth's crust in the Altai-Sayan mountain region. *Russian Geology and Geophysics*, 54(2): 206–222. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.01.011>
  11. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S. **2021**. Source of strong earthquake as a geological object. *Geotectonics*, 55(3): 307–333. <https://doi.org/10.1134/s0016852121030079>
  12. Rebetskiy Yu.L., Marinin A.V., Sim L.A. **2019**. Tectonophysical paleostress reconstructions: Interpretation challenges and possible solutions. *Russian Geology and Geophysics*, 60(6): 675–689. <https://doi.org/10.15372/RGG2019048>
  13. [State Geological map of the Russian Federation]. Scale: 1:1 000 000. **2011**. Ser. Altai–Sayan. Sheet M-45 (Gorno-Altaysk): Explanatory notice. Authors: Fedak S.I., Turkin Yu.A., Gusev A.I., Shokal'skii S.P., Rusanov G.G., Borisov B.A., Belyaev G.M., Leont'ev E.M. Saint Petersburg: VSEGEI, 567 p. (In Russ.).
  14. [Tectonic map of Central Asia and adjacent areas]. Scale: 1:2 500 000. **2008**. Eds: O.V. Petrov, Yu.G. Leonov, and S.P. Shokal'skii. Saint Petersburg: VSEGEI, VNIIOkeangeologiya. (In Russ.).
  15. Deev E.V., Krzhivoblotskaya V.E., Borodovskiy A.P., Entin A.L. **2022**. Active faults and Late Holocene surface rupturing earthquakes in the Kokorya Basin (Gorny Altai, Russia). *Doklady Earth Sciences*, 506(1): 666–670. <https://doi.org/10.1134/s1028334x22700039>
  16. Rastsvetaev L.M. **1987**. [Paragenetic method of structural analysis of disjunctive tectonic faults]. In: [Problems of structural geology and physics of tectonic processes]. Moscow: GIN AN SSSR, 2, p. 173–235 (In Russ.).
  17. Rebetskiy Yu.L. **2007**. *Tectonic stresses and strength of rock massifs*. Moscow: Akademkniga, 406 p.
  18. Rebetskiy Yu.L., Sim L.A., Marinin A.V. **2017**. [From slickensides to tectonic stresses: Methods and algorithms]. Moscow: GEOS, 234 p.
  19. Sim L.A. **1982**. [Determination of the regional field by the data on the local stress in separate areas]. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka = [Geology and exploration]*, 4: 35–40. (In Russ.).
  20. Sim L.A. **2000**. [The influence of global tectogenesis on recent stress state of European platforms]. In: *M.V. Gzovskii i razvitie tektonofiziki = M.V. Gzovskii and the progress in tectonophysics*. Moscow: Nauka, p. 326–350. (In Russ.).
  21. Osokina D.N. **1987**. [The relationship of fault displacement with tectonic stress fields and some issues of massif destruction]. In: [Fields of the Stress and Strain in the Crust]. Moscow: Nauka, p. 120–135. (In Russ.).
  22. Tveritina T.Yu., Marinin A.V., Deev E.V. **2023**. Geodynamics of the Katunsky fault (Gorny Altai) according to structural and kinematic data. *Moscow University Bulletin. Series 4, Geology*, (1): 46–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-1-46-59>
  23. Leskova E.V. **2013**. [Spatiotemporal structure and tectonic stress field of the aftershock region of the 2003 Chuya earthquake according to 2003–2012 monitoring data]: extended abstract of the thesis ... Cand. Sci. (Phys. and Math.). Novosibirsk, 17 p. (In Russ.).
  24. Mikhailova A.V. **2007**. [Geodynamic characteristics of structures formed in the layer above active basement faults (according to tectonophysical modeling)]. In: [Geophysics of the XXI century: Proceedings of the 8th geophysical readings named after V.V. Fedynsky, March 2–4, 2006]. Moscow: INTEK-GEON, p. 111–118. (In Russ.).
  25. Mansurov A.N. **2023**. [Calculation of the distribution of recent deformations of the Earth's crust for the territory of the Gorny Altai, and Sayan and Kazakh platforms according to cosmogeodesic observations]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk = Fundamental and applied issues of mining*, 10(2): 53–58. (In Russ.).
  26. Mansurov A.N. **2024**. [Coordination of velocity catalogs of three GNSS networks of Altai, Sayan, Mongolia and East Kazakhstan for the calculation of the distribution of the velocity tensor of the Earth's crust deformation in this territory]. In: [Problems of geodynamics and geocology of intracontinental orogens]: Abstracts of the IX Intern. symp. Bishkek, p. 96–99. (In Russ.).

## ПРИЛОЖЕНИЕ / APPENDIX

Таблица. Параметры палеонапряженного состояния (локальных стресс-тензоров) в районе Чуйской и Курайской впадин  
 Table. Parameters of the paleostress state (local stress tensors) in the area of Chuysa and Kurai depressions

№ п/п	Участок. Номер точки наблюдения	Координаты точек наблюдения		$\sigma_1$		$\sigma_2$		$\sigma_3$		Направление макс. гориз. сжатия	Тип напряженного состояния	$\mu_0$	MM	Md	Mt
		с.ш.	в.д.	Аз	З	Аз	З	Аз	З						
<b>«Курай»</b>															
1	22934-1	50°14.827'	87°52.691'	132	6	38	39	229	51	46	ГР+сдвиг	0,4	18	9	3
2	22934-2	50°14.818'	87°52.384'	42	6	133	9	281	80	311	ГР	-0,38	8	7	1
3	22935 (этап А)	50°14.092'	87°56.797'	212	54	329	19	70	30	274	ГС	-0,33	27	12	1
4	22935 (этап Б)	50°14.092'	87°56.797'	334	34	81	23	197	47	51	ГР	-0,17	27	9	1
5	22936-1	50°06.542'	87°56.687'	182	59	73	16	335	26	325	ГС	-0,04	11	9	0
6	22936-2 (этап А)	50°06.277'	87°56.707'	155	27	32	47	262	30	72	Гор. сдвиг	-0,12	32	20	0
7	22936-2 (этап Б)	50°06.277'	87°56.707'	60	6	316	67	152	22	332	Гор. сдвиг	0,5	32	9	1
8	22937 (этап А)	50°11.191'	87°55.308'	44	65	208	24	300	6	302	ГС	-0,05	49	22	1
9	22937 (этап Б)	50°11.191'	87°55.308'	206	34	39	55	300	6	298	Гор. сдвиг	-0,03	49	13	0
10	22937 (этап В)	50°11.191'	87°55.308'	300	6	210	3	93	83	30	ГР	-0,22	49	10	2
<b>«Чаган-Узун»</b>															
11	18593	50°09.477'	88°18.743'	286	41	154	38	42	27	33	ГС+сдвиг	0,17	11	6	1
12	18594	50°05.897'	88°22.627'	185	11	95	1	0	79	275	ГР	0,42	12	6	2
13	18595	50°06.434'	88°21.745'	270	6	4	36	172	54	357	ГР+сдвиг	0,12	18	9	3
14	18596 (этап А)	50°06.574'	88°21.550'	48	0	138	35	318	55	318	ГР	0,14	21	8	2
15	18596 (этап Б)	50°06.574'	88°21.550'	326	26	59	8	164	63	52	ГР	-0,19	21	7	2
16	18597	50°07.094'	88°21.028'	206	34	96	27	337	44	302	ГР	-0,52	5	4	0
17	18598	50°10.260'	88°10.861'	300	35	47	24	164	46	10	ГР	0,04	4	3	0
18	18599	50°10.547'	88°15.935'	180	12	26	77	271	6	271	Гор. сдвиг	0,17	5	4	0
19	18600	50°04.583'	88°24.529'	39	50	233	39	137	7	315	ГС+сдвиг	0,08	21	9	3
20	22917-1	50°06.006'	88°21.332'	283	23	128	65	17	9	15	Гор. сдвиг	-0,19	12	7	0
21	22917-2	50°05.951'	88°21.250'	49	27	287	45	158	32	325	Гор. сдвиг	-0,29	14	7	2
22	22918	50°03.465'	88°17.662'	217	60	46	30	313	4	310	ГС	-0,46	7	3	0
23	22919 (этап А)	50°02.891'	88°16.424'	261	48	101	41	2	10	358	ГС+сдвиг	-0,01	29	14	0
24	22919 (этап Б)	50°02.891'	88°16.424'	11	22	108	17	234	62	270	ГР	0,21	29	13	0
25	22920	50°02.963'	88°16.562'	348	28	215	52	91	24	83	Гор. сдвиг	-0,25	18	9	3
26	22921 (этап А)	50°03.051'	88°16.732'	234	6	127	72	326	17	325	Гор. сдвиг	0,27	28	12	4

№ п/п	Участок. Номер точки наблюдения	Координаты точек наблюдения		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		Направление макс. гориз. сжатия	Тип напряженного состояния	μ <sub>σ</sub>	MM	Md	Mt
		с.ш.	в.д.	Аз	З	Аз	З	Аз	З						
27	22921 (этап Б)	50°03.051'	88°16.732'	328	17	183	69	61	11	60	Гор. сдвиг	0,36	28	10	1
28	22922-1 (этап А)	50°03.118'	88°16.792'	6	0	96	30	276	60	276	ГР	-0,19	26	14	2
29	22922-1 (этап Б)	50°03.118'	88°16.792'	270	48	82	42	176	4	357	ГС+сдвиг	0,04	26	6	2
30	22922-2	50°03.122'	88°16.816'	258	60	88	30	356	4	354	ГС	0,06	14	14	0
<b>«Бельгир»</b>															
31	22900-1	49°59.763'	88°08.815'	239	12	141	68	337	21	332	Гор. сдвиг	0,05	12	8	1
32	22900-2	49°59.751'	88°08.910'	306	0	216	84	36	6	36	Гор. сдвиг	-0,14	17	12	0
33	22901-1	49°59.779'	88°08.809'	83	36	204	36	232	34	334	ГС+сдвиг	0,22	11	10	0
34	22901-2	49°59.774'	88°08.859'	195	11	104	3	359	73	285	ГР	-0,02	12	12	0
35	22949	49°57.528'	88°02.300'	180	84	311	4	42	5	42	ГС	0,39	17	10	3
36	22950-1	49°57.509'	88°02.123'	348	59	216	22	117	21	289	ГС	-0,05	13	11	0
37	22950-2	49°57.472'	88°02.101'	131	27	284	60	35	12	37	Гор. сдвиг	0,17	9	6	1
38	22950-3	49°57.486'	88°02.149'	38	32	253	53	139	17	315	Гор. сдвиг	0,1	8	7	0
39	22951	49°57.621'	88°01.025'	0	72	234	11	141	14	317	ГС	-0,12	13	7	2
40	22952	49°57.658'	87°59.946'	32	54	210	36	301	1	301	ГС+сдвиг	0,04	17	13	3
<b>«Джалгиз-Тобе»</b>															
41	22912-1	49°52.631'	88°41.124'	70	52	194	23	297	28	313	ГС	-0,16	9	7	0
42	22912-2	49°52.539'	88°41.230'	222	73	42	53	132	0	312	ГС+сдвиг	0,17	9	6	1
<b>«Акташ»</b>															
43	18590	50°21.791'	87°37.941'	289	72	108	19	192	0	18	ГС	-0,25	13	10	0
44	18591	50°21.792'	87°37.978'	342	71	99	9	191	17	18	ГС	-0,34	17	10	4
45	18592	50°25.255'	87°35.437'	120	6	230	72	28	16	30	Гор. сдвиг	-0,36	6	5	0
46	22895	50°25.769'	87°35.285'	12	0	102	36	282	54	282	ГР+сдвиг	-0,3	14	9	2
47	22904	50°15.152'	87°39.206'	117	77	13	3	282	13	280	ГС	-0,03	5	3	0
48	22905	50°14.988'	87°39.140'	180	66	58	13	323	20	318	ГС	-0,03	21	17	0
49	22906-1	50°14.906'	87°39.020'	24	5	114	11	269	78	292	ГР	0,03	12	10	1
50	22906-2	50°14.856'	87°38.946'	189	53	98	1	7	37	5	ВГ	0,12	9	5	1
51	22907-1	50°15.174'	87°41.015'	180	66	81	4	349	24	346	ГС	-0,01	8	7	0
52	22907-2	50°15.239'	87°40.844'	180	54	59	20	318	28	303	ГС	-0,1	16	15	0
53	22907-3	50°15.171'	87°41.033'	132	6	249	77	41	11	42	Гор. сдвиг	-0,36	6	4	1

№ п/п	Участок. Номер точки наблюдения	Координаты точек наблюдения		$\sigma_1$		$\sigma_2$		$\sigma_3$		Направление макс. гориз. сжатия	Тип напряженного состояния	$\mu_0$	ММ	Md	Mt
		с.ш.	в.д.	Аз	З	Аз	З	Аз	З						
54	22908-1	50°15.200'	87°40.990'	277	24	96	66	187	0	7	Гор. сдвиг	0,13	9	6	1
55	22908-2	50°15.182'	87°41.050'	142	32	280	50	38	22	44	Гор. сдвиг	-0,04	16	16	0
56	22909	50°14.968'	87°42.644'	198	52	70	26	326	26	314	ГС	-0,05	8	6	0
57	22911	50°15.783'	87°43.862'	228	6	345	78	137	11	318	Гор. сдвиг	0,2	11	9	1
58	22923	50°19.758'	87°37.469'	331	22	150	68	241	0	61	Гор. сдвиг	0,17	8	8	0
59	22924	50°19.875'	87°37.393'	232	35	63	55	326	5	324	Гор. сдвиг	0	8	5	1
60	22925	50°20.064'	87°37.767'	108	11	3	53	206	34	21	Гор. сдвиг	-0,28	11	7	1
61	22926	50°19.885'	87°39.683'	235	30	338	22	98	52	311	ГР	0	10	7	2
62	22927	50°19.885'	87°39.724'	348	28	229	43	99	35	87	Гор. сдвиг	-0,04	26	16	1
63	22928	50°19.985'	87°39.133'	11	22	224	65	106	12	283	Гор. сдвиг	-0,04	15	12	0
64	22929	50°20.022'	87°39.060'	36	6	216	84	126	0	306	Гор. сдвиг	0,28	13	8	2
65	22587	50°19.460'	87°43.975'	122	18	233	48	18	37	26	ГС+сдвиг	-0,03	8	7	0
66	22588	50°19.636'	87°44.288'	56	69	228	21	319	3	320	ГС	-0,29	19	11	2
67	22589	50°20.227'	87°44.855'	158	21	307	66	64	11	67	Гор. сдвиг	-0,61	11	9	1
68	22930	50°13.949'	87°45.488'	150	30	278	47	48	27	47	Гор. сдвиг	0,4	13	6	3
69	22931	50°14.128'	87°45.500'	297	77	187	5	96	13	275	ГС	0,22	14	8	4
70	22932	50°13.607'	87°43.803'	14	65	171	23	265	9	89	ГС	-0,24	35	28	3
71	22933	50°13.611'	87°43.732'	256	65	145	9	51	23	43	ГС	-0,15	17	12	0
72	22938	50°21.913'	87°20.241'	138	37	344	50	238	13	54	ГС+сдвиг	0,14	13	10	0
73	22938-1	50°21.945'	87°20.349'	198	71	44	17	312	8	307	ГС	-0,4	12	8	1
74	22938-2	50°21.926'	87°20.324'	288	47	97	43	192	5	14	ГС+сдвиг	0,05	22	15	3
75	22940	50°19.798'	87°28.082'	120	6	257	82	30	6	30	Гор. сдвиг	0,23	17	11	4
76	22940-1	50°19.824'	87°28.128'	160	31	265	24	26	49	44	ГР	0,4	5	3	2
77	22941	50°19.837'	87°27.914'	80	54	332	13	233	33	34	ГС	-0,09	7	6	0
78	22942-1	50°18.081'	87°30.089'	290	52	160	27	56	25	36	ГС	-0,3	8	6	2
79	22942-2	50°18.224'	87°30.152'	297	77	126	13	36	2	35	ГС	0,1	7	4	3
80	22942-3	50°17.751'	87°30.439'	305	69	159	18	66	12	63	ГС	0,09	12	10	1
81	22943-1	50°17.487'	87°30.833'	260	54	152	13	53	33	43	ГС	0,17	4	4	0
82	22943-2	50°17.469'	87°30.921'	316	73	152	16	60	4	59	ГС	-0,15	9	8	0
83	22944	50°17.654'	87°30.623'	351	53	137	32	237	16	65	ГС	-0,14	5	5	0

№ п/п	Участок. Номер точки наблюдения	Координаты точек наблюдения		σ <sub>1</sub>		σ <sub>2</sub>		σ <sub>3</sub>		Направление макс. гориз. сжатия	Тип напряженного состояния	μ <sub>σ</sub>	ММ	Мд	Мт
		с.ш.	в.д.	Аз	З	Аз	З	Аз	З						
84	22945	50°18.908'	87°33.910'	278	42	102	48	10	2	9	ГС+сдвиг	-0,24	14	12	0
85	22946	50°19.227'	87°36.015'	338	57	99	19	198	26	30	ГС	-0,06	27	18	3
86	22947	50°20.447'	87°08.164'	313	11	158	78	44	5	44	Гор. сдвиг	0,02	20	18	1
87	22953	50°19.429'	87°37.280'	343	6	90	72	251	17	73	Гор. сдвиг	-0,62	15	8	3
88	22954	50°19.531'	87°37.388'	0	72	206	16	114	7	292	ГС	-0,06	12	5	1
89	22955	50°19.538'	87°37.348'	258	12	156	45	359	42	352	ГС	0,07	10	8	1
90	22591 (этап А)	50°19.417'	87°37.251'	135	82	274	6	4	6	5	ГС	0,44	20	7	3
91	22591 (этап Б)	50°19.417'	87°37.251'	15	11	112	34	270	54	279	ГР	0,23	20	8	1
92	22593	50°19.300'	87°36.898'	292	34	134	54	29	10	26	Гор. сдвиг	-0,06	13	10	1
93	22594	50°19.227'	87°36.015'	29	22	241	64	124	12	302	Гор. сдвиг	-0,02	9	6	1
94	22595	50°19.294'	87°35.752'	143	21	266	55	42	27	47	Гор. сдвиг	0,03	28	18	1
95	22956	50°20.130'	87°05.910'	318	0	228	84	48	6	48	Гор. сдвиг	-0,05	15	10	0
96	22957	50°23.219'	87°00.101'	128	35	20	24	263	46	62	ГР	0,19	13	6	2
<b>«Бугузун»</b>															
97	18603	50°03.617	89°08.967	32	54	274	18	173	30	337	ГС	-0,13	15	9	3
98	18604	50°03.663	89°08.900	332	11	223	59	68	29	65	Гор. сдвиг	0,22	9	6	2
99	18606	50°02.773	89°10.878	184	4	88	54	277	36	275	ГР+сдвиг	-0,62	7	4	1
100	18608 (этап А)	50°04.686	89°04.210	66	12	223	77	335	5	335	Гор. сдвиг	0,26	14	5	1
101	18608 (этап Б)	50°04.686	89°04.210	142	32	347	56	239	12	55	Гор. сдвиг	-0,25	14	5	0
102	18609	50°04.976	89°04.308	141	50	242	9	340	38	29	ВГ	-0,36	7	5	0
103	18610	50°04.444	89°04.306	270	6	1	6	135	82	359	ГР	0,34	9	6	1
104	18611	50°04.393	89°04.321	213	69	30	22	120	1	301	ГС	-0,27	7	6	0
105	18612	50°03.824	89°06.076	349	15	190	75	81	5	80	Гор. сдвиг	0,28	11	6	1
106	18614	50°03.777	89°11.227	200	31	95	24	334	50	308	ГР	0,15	15	5	2
107	18615	50°02.756	89°10.844	169	5	348	85	79	0	79	Гор. сдвиг	-0,14	11	7	0
108	18616	50°02.728	89°10.794	127	11	3	70	220	16	39	Гор. сдвиг	0,16	7	5	0
109	18618	50°01.604	89°12.965	72	6	314	78	163	11	343	Гор. сдвиг	0,43	9	4	0
110	18619	50°01.663	89°12.471	102	60	232	21	331	21	336	ГС	0,16	9	6	1
111	18620	50°01.138	89°13.074	132	6	249	78	41	11	42	Гор. сдвиг	0,1	14	11	1
112	18621	50°03.162	89°15.029	286	41	39	24	151	40	339	ВГ	0,53	5	4	0

№ п/п	Участок. Номер точки наблюдения	Координаты точек наблюдения		$\sigma_1$		$\sigma_2$		$\sigma_3$		Направление макс. гориз. сжатия	Тип напряженного состояния	$\mu_0$	MM	Md	Mt
		с.ш.	в.д.	Аз	Д	Аз	Д	Аз	Д						
<b>«Чаган-Бургазы»</b>															
113	22913-1	49°40.772	88°41.113	207	63	336	18	72	20	79	ГС	-0,02	12	8	1
114	22913-2	49°40.797	88°41.114	64	23	333	3	236	67	338	ГР	0,33	16	14	1
115	22914	49°41.008	88°41.273	192	59	327	23	66	19	69	ГС	0,34	26	23	1
116	22915	49°41.417	88°41.211	4	4	100	54	271	36	273	ГР+сдвиг	-0,12	6	5	0
117	22916-1	49°42.228	88°40.309	180	72	54	11	321	14	313	ГС	-0,45	8	5	2
118	22916-2 (Этап А)	49°42.089	88°40.280	141	50	256	19	359	34	26	ГС	-0,28	22	9	3
119	22916-2 (Этап Б)	49°42.089	88°40.280	346	34	87	16	198	52	53	ГР	0,18	22	9	1

*Примечания.* Реконструированные ориентировки осей главных напряжений:  $\sigma_1$  – минимальных (девиаторное растяжение),  $\sigma_2$  – промежуточных,  $\sigma_3$  – максимальных сжимающих напряжений. Типы напряженного состояния: ГР – горизонтальное растяжение, ГР+сдвиг – горизонтальное растяжение в сочетании со сдвигом, Гор. сдвиг – горизонтальный сдвиг, ГС – горизонтальное сжатие, ГС+сдвиг – горизонтальное сжатие в сочетании со сдвигом, ВГ – сдвиг в вертикальной/горизонтальной плоскости;  $\mu_0$  – коэффициент Лодэ–Надаи, MM – количество измеренных зеркал скольжения в точке наблюдения; Md и Mt количество зеркал скольжения при расчете в программе STRESSgeol, отлично (Md) и хорошо (Mt) удовлетворяющих условиям алгоритма метода катакластического анализа разрывных смещений. Точки наблюдения находятся в поле выходов протерозойско-палеозойских (участки «Курай» и «Акташ»), протерозойских и девонских (участок «Чаган-Узун»), нижнепалеозойских (участок «Чаган-Бургазы») и девонских (участки «Бельгир», «Джалгиз-Тобе» и «Бугузун») образований.

*Notes.* The reconstructed orientations (azimuths and dip angles) of the principal stress axes:  $\sigma_1$ , minimum (deviatoric tension),  $\sigma_2$ , intermediate, and  $\sigma_3$ , maximum compressive stress. The type of stress regime: ГР, horizontal extension; ГР+сдвиг, horizontal extension with shear; Гор. сдвиг, horizontal shear; ГС, horizontal compression; ГС+сдвиг, horizontal compression with shear; ВГ, vertical shear.  $\mu_0$  indicates the Lode–Nadai coefficient. MM indicates the number of measured slickensides at the observation point; Md and Mt are the number of slickensides used in the calculation in the STRESSgeol program (excellent (Md) and good (Mt) results satisfying the algorithm conditions of the method of cataclastic analysis of fault slips). The observation points are located in the areas of Proterozoic-Paleozoic (“Kuray” and “Aktash” sites), Proterozoic and Devonian (“Chagan-Uzun” site), Lower Paleozoic (“Chagan-Burgazy” site), and Devonian (“Belgir”, “Dzhalgiz-Tobe”, and “Buguzun” sites) formations.

## Об авторах

**Маринин Антон Витальевич** (<https://orcid.org/0000-0002-1099-6492>), кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, [marinin@ifz.ru](mailto:marinin@ifz.ru)

**Сим. Лидия Андреевна** (<https://orcid.org/0000-0003-0267-2241>), доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, [sim@ifz.ru](mailto:sim@ifz.ru)

## About the Authors

**Marinin, Anton V.** (<https://orcid.org/0000-0002-1099-6492>), Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, [marinin@ifz.ru](mailto:marinin@ifz.ru)

**Sim, Lydia A.** (<https://orcid.org/0000-0003-0267-2241>), Doctor Sci. (Geological and Mineralogical), Leading Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, [sim@ifz.ru](mailto:sim@ifz.ru)

Поступила 03.11.2024

Принята к публикации 06.12.2024

Received 3 November 2024

Accepted 6 December 2024