



RESULTS OF THE TECTONOPHYSICAL STUDY IN THE DZHANKHOT THRUST ZONE (NORTHWESTERN CAUCASUS)

A.V. Marinin ¹✉, T.Yu. Tveritina²

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10-1 Bolshaya Gruzinskaya St, Moscow 123242, Russia

²Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

ABSTRACT. The paper presents the results of detailed structural analysis of the Dzhankhot thrust zone which is a part of the system of overthrust nappe structures in the southern slope of the Northwestern Caucasus. The relevance of the research topic is found on the reason that despite the obvious importance of these overthrust nappes in the structure of the Greater Caucasus there is still lack of in-situ observational data on the detailed structure of thrust zones and on tectonic stress distribution pattern therein.

As a result of the structural and geological studies of small disjunctive and plicative forms in the Upper Cretaceous and Paleocene sediment contact along the Dzhankhot thrust, there were identified the major structural and tectonic deformation patterns and the areal distribution of tectonic deformations depending on the distance to the thrust. There was determined the major type of stress in different parts of the thrust zone. There was shown the difference in the development of geological indicators of faults for different elements of the folded structures. In some cases, there was determined the sequence of deformations, from synsedimentary structures (clastic dikes in particular) to post-sedimentary brittle structures.

The orientation of principal stress axes determined from the reconstruction data by method of cataclastic analysis of faults confirms a thrust-type deformation within the studied area near the Dzhankhot thrust. Local stress-tensor determinations are in good agreement with the location of observation points in the regional tectonic structure. Trajectories of the maximum compression axes, most of which are submeridionally and NNW-trending, change orientation to the northwest in the immediate vicinity of the Dzhankhot thrust fault zone. The identified features of tectonic structure and stressed-strained state of the Dzhankhot thrust zone allow considering this area as a natural structural and tectonophysical testing ground for both tectonic-stress-reconstruction-improvement methodologies and a study on natural deformation structures of the Greater Caucasus.

KEYWORDS: tectonic stresses; structural paragenesis; fault; Northwestern Caucasus; Dzhankhot thrust; strike-slip fault; slickenside; tension joint; stress stylolites; fracture; clastic sand dike; syncline; anticline

FUNDING: The study was carried out as part of a state assignment for the IPE RAS.

RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Anton V. Marinin, marinin@ifz.ru

Received: May 28, 2021

Revised: November 11, 2021

Accepted: November 12, 2021

FOR CITATION: Marinin A.V., Tveritina T.Yu., 2022. Results of the Tectonophysical Study in the Dzhankhot Thrust Zone (Northwestern Caucasus). *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (3), 0645. doi:10.5800/GT-2022-13-3-0645

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЙОНА ДЖАНХОТСКОГО НАДВИГА (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)

А.В. Маринин¹, Т.Ю. Тверитинова²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия

АННОТАЦИЯ. В статье приводятся результаты детального структурного анализа зоны Джанхотского надвига, входящего в систему покровно-надвиговых дислокаций южного склона Северо-Западного Кавказа. Актуальность темы определяется тем, что при признании значительной роли подобных структур в строении Большого Кавказа детали строения надвиговых зон и характер распределения внутри них тектонических напряжений по натурным природным данным остаются малоизученными.

В результате структурно-геологических исследований малых дизъюнктивных и пликативных форм в контактирующих по Джанхотскому надвигу верхнемеловых и палеоценовых отложениях выявлены основные структурные рисунки тектонических деформаций, их распределение по площади в зависимости от расстояния до надвига. Определен преобладающий тип напряженного состояния в разных частях исследованной зоны надвига. Показано различие в развитии геологических индикаторов разрывных деформаций для разных элементов складчатых структур. В ряде случаев установлена последовательность деформаций от синседиментационных структур (в частности, кластических даек) к постседиментационным деформационным структурам хрупкого разрушения.

Полученная по данным реконструкции методом катакластического анализа разрывных нарушений ориентация осей главных напряжений подтверждает надвиговый тип деформирования в пределах исследованной территории в районе Джанхотского нарушения. Результаты определения локальных стресс-тензоров хорошо соотносятся с положением точек наблюдения в региональной тектонической структуре. Траектории осей максимального сжатия, имеющие в целом по району субмеридиональное и ССЗ простирание, непосредственно вблизи разрывной зоны Джанхотского надвига отклоняются до северо-западной ориентации. Выявленные особенности тектонического строения и напряженно-деформированного состояния района Джанхотского надвига позволяют рассматривать эту территорию в качестве природного структурного и тектонофизического полигона, на котором возможно как решение методических задач по совершенствованию методов реконструкции тектонических напряжений, так и проведение исследований по изучению природных деформационных структур Большого Кавказа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тектонические напряжения; структурный парагенез; разрыв; Северо-Западный Кавказ; Джанхотский надвиг; сдвиг; зеркало скольжения; отрыв; стресс-стилолит; трещина; песчаная дайка; синклиналь; антиклиналь

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования выполнены в рамках госзадания ИФЗ РАН.

1. ВВЕДЕНИЕ

Интересное, а точнее, уникальное место в тектонической структуре Северо-Западного Кавказа занимает район, расположенный в Краснодарском крае к юго-востоку от г. Геленджика вблизи хутора Джанхот. Район находится на южном крыле складчатой системы Большого Кавказа, относящейся, в свою очередь, к крайней северной ветви Альпийско-Гималайского пояса. В позднеальпийской структуре складчатого сооружения Северо-Западного Кавказа определяющее значение имеют продольные (ЗСЗ простирания) структуры сжатия, выраженные в виде складчатых зон с разным тектоническим стилем и разной степени дислоцированности [Rastsvetaev et al., 2010]. В их формировании большую роль играют взбросовые и надвиговые дислокации, которые картируются с самого начала изучения геологического строения региона [Borukaev, 1964, 1970; Khain et al., 1962; State Geological Map..., 2002].

В разные годы влияние взбросовых и надвиговых нарушений преувеличивалось или преуменьшалось в зависимости от господствующих взглядов и подходов исследователей. Самые известные и хорошо видимые на карте крупные продольные нарушения со взбросо-надвиговой кинематикой расположены вдоль южного крыла складчатого сооружения Северо-Западного Кавказа и известны под общим названием «надвиги южного склона». К наиболее известным и часто упоминаемым в литературе покровно-надвиговым нарушениям можно отнести Бекишейский, Воронцовский, Наужинский и Чемитокваджинский разрывы. Намного реже упоминаемый Джанхотский надвиг по данным геологического картирования имеет субширотное простирание и падение плоскости сместителя на север под углом около 30°. Детальное изучение района надвига проведено в 70 и 80-х гг. прошлого века в ходе работ по ГДП-50 (геологическое доизучение ранее

заснятых площадей в масштабе 1:50000), проводимых ПГО «Севкавгеология» (В.И. Резников и др.). Последние работы в рамках ГДП-200 (геологическое доизучение ранее заснятых площадей в масштабе 1:200000), проводимые «Кавказгеолсъемкой» (С.Г. Корсаков и др.), указывают на взбросо-левосдвиговый характер перемещений по Джанхотскому надвигу.

Целью настоящей работы являлось изучение напряженно-деформированного состояния массива горных пород в зоне Джанхотского нарушения и геологических индикаторов тектонического стресса в районе исследования, а также уточнение латерального распределения структурных парагенезов в зоне разлома.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Джанхотский надвиг расположен в пределах Анапско-Агойской синклинали к югу от Семигорской антиклинали (антиклинальной зоны). По надвигу отложения верхнего мела (турон – кампан) надвинуты на маастрихт-палеоценовые отложения (рис. 1). К северу от зоны надвига в его висячем крыле расположена узкая антиклиналь с выходами турон-сантонских отложений с редуцированным за счет надвига южным крылом. Севернее располагается смежная широкая Прасковеевская синклиналь, выполненная кампанскими отложениями. Далее к северу располагаются Джанхотская антиклиналь и Геленджикская синклиналь,

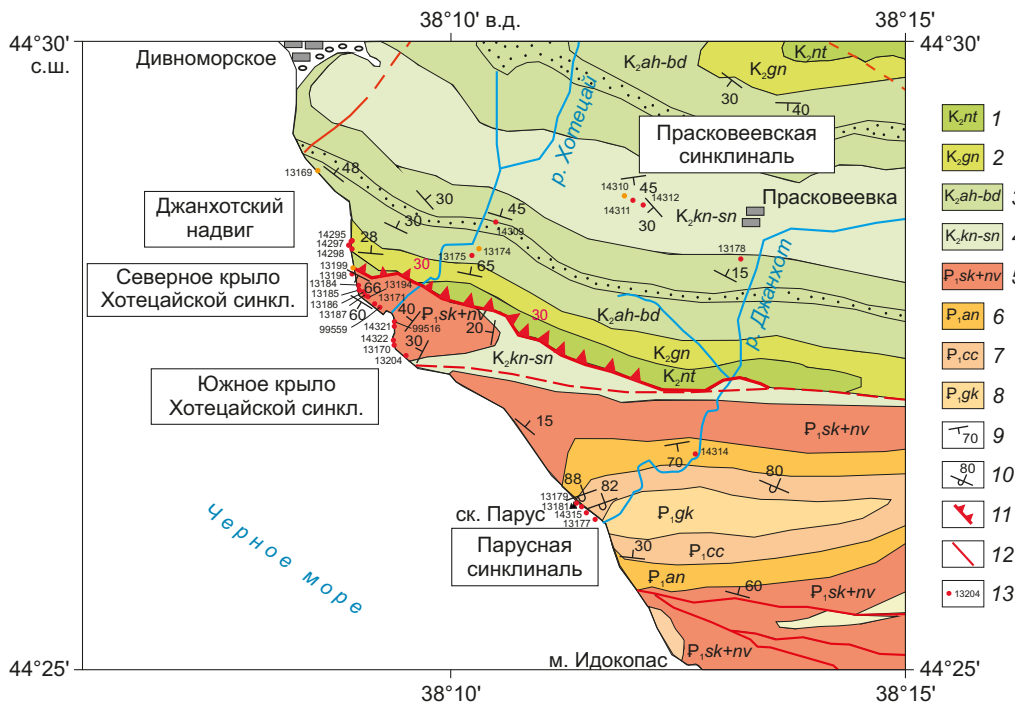


Рис. 1. Схема геологического строения района с расположением основных участков и точек наблюдения (составлена с учетом данных В.И. Резникова, С.Г. Корсакова и др.).

Основные участки наблюдения: Прасковеевская синклиналь – обнажения вдоль дороги Джанхот – Прасковеевка, Джанхотский надвиг – береговой клиф к северу от зоны надвига, северное крыло Хотецайской синклинали – побережье к северо-западу от пляжа Джанхота, южное крыло Хотецайской синклинали – побережье к юго-востоку от пляжа Джанхота, Парусная синклиналь – к северо-западу от Прасковеевского пляжа.

1–8 – области распространения отложений: 1 – натухаевской свиты (верхний турон), 2 – гениохской свиты (сантон), 3 – ахейанской, пенайской и бединовской свит (кампан), 4 – куниковской, мысхако, ликхтеровской, васильевской и снегуревской свит (кампан-маастрихт), 5 – сукко и навагирской свит (нижний палеоцен), 6 – анапской свиты (нижний палеоцен), 7 – свиты циде (нижний палеоцен), 8 – свиты горячего ключа (верхний палеоцен); 9–10 – элементы залегания слоистости: 9 – нормальное, 10 – опрокинутае; 11 – Джанхотский надвиг; 12 – разрывные нарушения (предполагаемые – пунктирная линия); 13 – точки наблюдения и их номера.

Fig. 1. Scheme of geological structure of the area showing the location of major monitored areas and observation points (based on the data collected by V.I. Reznikov, S.G. Korsakov and others).

The major monitored areas are: Praskoveevka syncline – outcrops along the Dzhankhot – Praskoveevka road, Dzhankhot thrust – coastal cliff to the north of the thrust zone, northern flank of the Khotetsai syncline – coastline to the northwest of the beach in Dzhankhot, southern flank of the Khotetsai syncline – coastline to the southeast of the beach in Dzhankhot, Parus syncline – to the northwest of the Praskoveevka beach.

1–8 – areas of sediment deposition: 1 – Natukhaevskaya Formation (Upper Turonian), 2 – Heniochian Formation (Santonian), 3 – Achaean, Penay and Bedinov formations (Campanian), 4 – Kunikov, Myskhako, Likhterov, Vasilyev and Snegurev formations (Campanian-Maastrichtian), 5 – Sukko and Navagir formations (Lower Paleocene), 6 – Anapa Formation (Lower Paleocene), 7 – Tsitse Formation (Lower Paleocene), 8 – Goryachy Klyuch Formation (Upper Paleocene); 9–10 – strike and dip of bedding: 9 – normal, 10 – overturned; 11 – Dzhankhot thrust; 12 – inferred faults (dashed line); 13 – observation points and their numbers.

которые косо срезаются нарушениями Семигорской антиклинальной зоны.

К югу от Джанхотского надвига в его лежачем крыле расположена серия складчатых структур субширотного (до ВСВ) простирания. Вблизи хутора Джанхот и нижнего течения долины р. Хотецай расположена Хотецайская (или Устьева) синклиналь ВСВ простирания. Ядро складки сложено толщей переслаивания терригенных пород датского яруса, а крылья складки с углами падения от 20 до 70° – верхнемаастрихт-датскими карбонатно-терригенными отложениями. Южнее Хотецайской синклинали за небольшим участком выхода пород верхнего мела (маастрихт) в зоне нарушения, выраженной дроблением и брекчированием пород, располагается широкая Парусная синклиналь, сложенная палеоценовыми отложениями. Синклиналь южнее сменяется антиклиналями мыса Идокопас и Береговой. В ядрах этих складок обнажаются маастрихтские отложения, а между ними располагается протяженная Архипо-Осиповская синклиналь. Вдоль побережья упомянутые складки располагаются кулисно, образуя зону концентрации деформаций правосдвигового типа северо-западного простирания. Имеющие широтное простирание разрывные структуры помимо взбросо-надвигового типа деформирования несут признаки левосдвиговых смещений.

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В зоне Джанхотского надвига проведены детальные структурно-кинематические замеры малых структур разного типа, сделаны выводы о степени дислоцированности пород и тектонодинамических условиях формирования с использованием структурно-парагенетического метода [Rastsvetaev, 1987]. Данные по частным кинематическим диаграммам тектонической трещиноватости и мелким разрывам, а также сведения по направлению, амплитуде и характеру относительных перемещений по отдельным дизъюнктивным нарушениям (зонам их концентрации) позволяют при помощи этого метода выявлять разномасштабные структурно-парагенетические ассоциации для определения региональных и локальных обстановок тектонического развития территории.

Для реконструкции напряженно-деформированного состояния горных пород использован метод катакластического анализа разрывных нарушений [Rebetsky, 2007], который опирается на общие энергетические положения современной теории пластичности и позволяет в едином режиме производить расчет параметров как тензора напряжений, так и тензора приращений квазипластических деформаций. Метод катакластического анализа позволяет определять относительные величины шаровой и девиаторной компонент тензора напряжений. Полученный тензор напряжений в каждом исследуемом объеме (при полевых исследованиях это точка наблюдения) характеризует поле напряжения в данной точке – локальное стресс-состояние (или локальный стресс-тензор). Основное отличие метода

катакластического анализа от близких методов дислокационного анализа [Gushchenko, 1975; Angelier, 1979] состоит в параллельном расчете тензора сейсмостектонических деформаций и в нахождении ориентации главных осей тензора напряжений на основе принципа максимальной диссипации энергии совокупности сколов из однородной выборки. Этот принцип используется применяемая для расчетов компьютерная программа STRESSgeol [Rebetsky, 2007; Rebetsky et al., 2017].

В основу исследований положены материалы, собранные авторами в ходе полевых работ тектонофизического отряда ИФЗ РАН в 2013 и 2014 гг. Используются также результаты наблюдений по району Джанхотского надвига [Marinin, 2003], собранные в 1998 и 1999 гг. В рассматриваемом районе зафиксированы самые разнообразные типы дизъюнктивных структур: надвиги, взбросы, сбросы, правые и левые сдвиги, отрывы и стресс-стилолиты, а также кластические дайки. Всего было выполнено около 1000 замеров, из них 345 с определением кинематики относительного перемещения на плоскостях зеркал скольжения. Замеры сгруппированы (рис. 1) на пяти основных участках наблюдений: Прасковеевской синклинали (к северу от зоны надвига вдоль обнажений на дороге Джанхот-Прасковеевка), Джанхотском надвиге (береговой клиф к северу от зоны надвига), северном крыле Хотецайской синклинали, южном крыле Хотецайской синклинали и Парусной синклинали (район скалы Парус).

Имеющийся набор дизъюнктивных и пликативных структур, разнообразных геологических стресс-индикаторов позволяет рассматривать данный район как своеобразный полигон для полевых тектонофизических исследований. Этому способствует характер обнаженности исследованной территории: практически непрерывный разрез вдоль берегового клифа, искусственные обнажения вдоль автомобильных дорог, естественные обнажения вдоль рек и ручьев. Неоднородное литологическое строение карбонатно-терригенных толщ с разными физико-механическими свойствами способствует формированию малых дизъюнктивных структур, а также помогает четко определить характер и амплитуду относительного смещения по разрывному нарушению.

4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ СТРУКТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Результаты наблюдений приводятся по пяти основным участкам, которые отличаются своим структурным положением и, помимо различий тектонического строения, характеризуются своим набором малых структурных форм и параметрами напряженно-деформированного состояния.

Участок «Прасковеевская синклиналь». Участок находится к северу от зоны Джанхотского надвига в пределах Прасковеевской синклинали и расположенной южнее антиклинали, редуцированной, как мы полагаем, при развитии Джанхотского надвига. На севере

участка в приосевой зоне Прасковеевской синклинали полого залегает толща чередования преимущественно известняков и глинистых известняков маастрихтского возраста. Эта часть Прасковеевской синклинали тектонически слабо деформирована – здесь фиксируется относительно немного геологических стресс-индикаторов и разрывных нарушений (рис. 2). Встречаются взбросовые и надвиговые структуры субширотного простирания. Четко фиксируются субвертикальные отрывы меридионального простирания. Менее представительны сдвиговые нарушения северо-восточного, северо-западного и субмеридионального простирания, которые не образуют устойчивых максимумов на диаграммах. Для данной части участка при меридиональном направлении максимального сжатия в обстановке горизонтального сдвига формируется структурный рисунок начальной стадии складчатой деформации, сопровождающейся малоамплитудными перемещениями по встречным сколам надвигового типа и образованием системы отрывов (субперпендикулярных оси складки). Сколовые трещины и зеркала скольжения взбросо-надвигового типа четко приурочены к области

разрушения на диаграмме Мора (рис. 3). Дальнейшего усложнения деформационных тектонических структур на этом участке не происходило, и все полученные здесь по полевым данным диаграммы тектонической трещиноватости имеют простой структурный рисунок.

Южная часть участка охватывает приподнятое крыло Прасковеевской синклинали и расположенную южнее антиклинальную структуру (Прасковеевская антиклиналь), редуцированную при развитии Джанхотского надвига и сложенную переслаиванием преимущественно известняков и глинистых известняков турона – сантона (см. рис. 1). Как мы полагаем, надвиг возник в результате осложнения этой антиклинальной структуры с формированием широтной зоны сжатия взбросо-надвигового типа со сдвиговой компонентой (транспрессия). Преимущественные падения слоистости – на ССВ под углом 40–65°, однако из-за небольших осложняющих складок элементы залегания могут изменяться в широких пределах. Среди малых структур отмечены стресс-стилолиты, отрывы, зоны дробления и зеркала скольжения взбросо-надвиговой, сбросовой и, реже, сдвиговой кинематики. Фиксируются близкие к

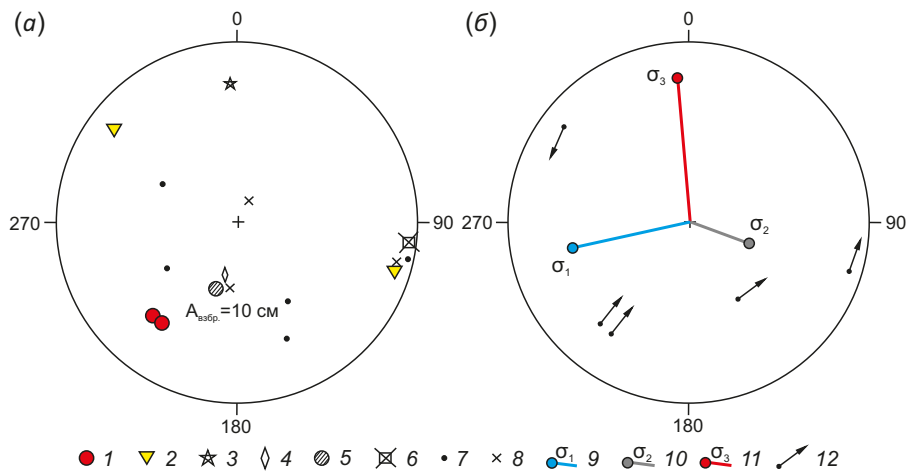


Рис. 2. Круговые диаграммы (стереографическая проекция верхней полусферы), показывающие полюсы плоскостей тектонических трещин разного типа (а) и положение осей главных напряжений, определенных методом катакlastического анализа разрывных нарушений (б) в т.н. 13178 (Прасковеевская синклинали).

1–7 – полюсы тектонических трещин с преимущественным типом перемещений: 1 – взбросы, 2 – левые сдвиги, 3 – взбросовые или сбросовые перемещения (по падению/восстанию без определения относительного направления), 4 – сдвиги (с неустановленным направлением относительного смещения), 5 – сместитель с определенной взбросовой компонентой смещения (с указанием амплитуды), 6 – отрывы, 7 – тектонические трещины (без видимого смещения); 8 – элементы залегания слоистости (нормальное); 9–11 – оси главных нормальных напряжений: 9 – минимальных, 10 – промежуточных, 11 – максимальных; 12 – направление перемещения висячего блока в полюсах трещин (зеркал скольжения) со структурно-кинематическими данными, которые были использованы при реконструкции (стрелки, направленные к центру диаграммы, – взбросы, от центра – сбросы, параллельно внешнему краю диаграммы – сдвиги).

Fig. 2. Circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) showing poles of the planes of tectonic fractures of different types (a) and location of the principal stress axes determined by method of cataclastic analysis of faults (b) in observation point 13178 (Praskoveevka syncline).

1–7 – poles of tectonic fractures whose displacement follows the major patterns: 1 – reverse faults, 2 – left-lateral strike-slips, 3 – reverse-fault or normal-fault displacements (in the dip/up-dip direction without determining relative direction), 4 – strike-slips (relative displacement direction undetermined), 5 – fault plane with reverse-fault displacement component determinable (identifying the amplitude), 6 – tension joints, 7 – tectonic fractures (without apparent displacement); 8 – strike and dip of bedding (normal); 9–11 – axes of principal normal stresses: 9 – minimum, 10 – intermediate, 11 – maximum; 12 – direction of displacement of the hanging block in fracture (slickenside) poles with the structural-kinematic data used for the reconstruction (the arrows directed to the center of the diagram are reverse faults, from the center of the diagram – normal faults, parallel to the outer edge of the diagram – strike-slips).

последним нарушениям взбросы и сбросы, образующие на диаграмме взбросо-сбросовый пояс и отражающие послойное проскальзывание при складчатой деформации в условиях ССВ сжатия. Как и в осевой зоне синклинали, здесь устойчива система субперпендикулярных к простиранию складчатых структур отрывов с ЗСЗ ориентацией максимального растяжения (простирание отрывов изменяется от меридионального до СВ). Отчетливо выражены ортогональные слоистости (с падением на ЮЮЗ) стресс-стилолиты, формировавшиеся в условиях ССВ сжатия, вероятно, до складчатой деформации (наклона слоев). По относительному соотношению зафиксированных отрывных нарушений

обстановка горизонтального сжатия сменилась позднее обстановкой горизонтального сдвига (субгоризонтальные отрывы секутся более поздними вертикальными отрывами).

Участок Джанхотского надвига. Участок расположен в береговом клифе в висячем крыле надвига и его фронтальной части. Он развивается на северном крыле антиклинали, расположенной южнее смежной Прасковеевской синклинали (см. рис. 1). Толща чередования преимущественно известняков и глинистых известняков имеет падения в ССЗ направлении. Недалеко от Джанхотского надвига наблюдается приядерная часть антиклинали. Структуры разрушения

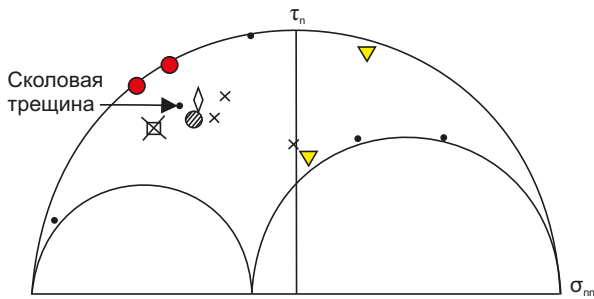


Рис. 3. Редуцированная диаграмма Мора по данным реконструкции в точке наблюдений № 13178 (Прасковеевская синклиналь). Условные обозначения на рис. 2.

Fig. 3. The reduced Moore diagram plotted based on the reconstruction data in observation point № 13178 (Praskoveevka syncline). The notations are given in Fig. 2.

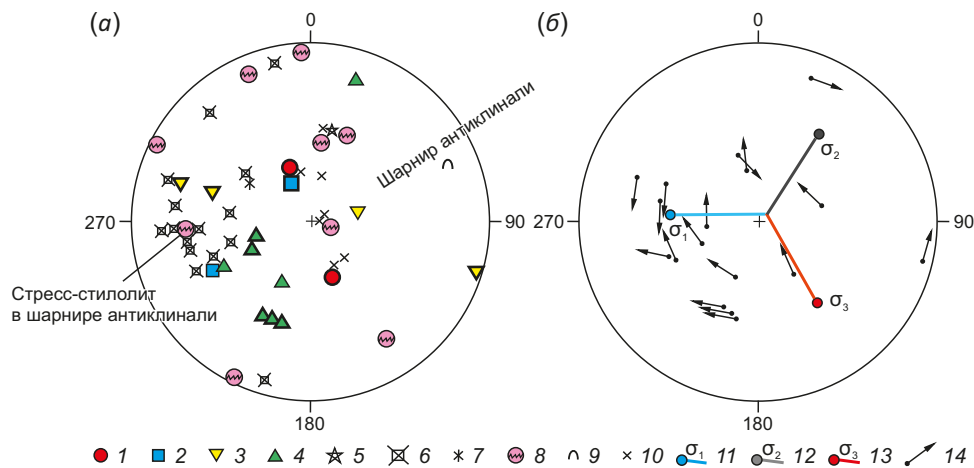


Рис. 4. Круговые диаграммы (стереографическая проекция верхней полусферы), показывающие полюсы плоскостей тектонических трещин разного типа (а) и положение осей главных напряжений, определенных методом катакlastического анализа разрывных нарушений (б) в т.н. № 14297 (участок «Джанхотский надвиг»).

1–8 – полюсы тектонических трещин с преимущественным типом перемещений: 1 – взбросы, 2 – сбросы, 3 – левые сдвиги, 4 – правые сдвиги, 5 – взбросовые или сбросовые перемещения (по падению/восстанию без определения относительного направления), 6 – отрывы, 7 – жилы, 8 – стресс-стилолиты; 9 – элементы залегания слоистости (нормальное); 10 – шарнир антиклинали; 11–13 – оси главных нормальных напряжений: 11 – минимальных, 12 – промежуточных, 13 – максимальных; 14 – направление перемещения висячего блока в полюсах трещин (зеркал скольжения) со структурно-кинематическими данными, которые были использованы при реконструкции. Полюсы плоскостей зеркал скольжения (условные знаки 1–4) с высокой степенью достоверности определения кинематики относительного смещения выделены толстой линией по краям значков.

Fig. 4. Circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) showing poles of the planes of tectonic fractures of different types (a) and location of the principal stress axes determined by method of cataclastic analysis of faults (b) in observation point 14297 (Dzhankhot thrust).

1–8 – poles of tectonic fractures whose displacement follows the major patterns: 1 – reverse faults, 2 – normal faults, 3 – left-lateral strike-slips, 4 – right-lateral strike-slips, 5 – reverse-fault or normal-fault displacements (in the dip/up-dip direction without determining relative direction), 6 – tension joints, 7 – veins, 8 – stress-stylolites; 9 – strike and dip of bedding (normal); 10 – upper bend; 11–13 – axes of principal normal stresses: 11 – minimum, 12 – intermediate, 13 – maximum; 14 – direction of displacement of the hanging block in fracture (slickenside) poles with the structural-kinematic data used for the reconstruction. Poles of slickenside planes (notations 1–4) with reliable determination of the relative displacement kinematics are marked by a thick line along the edges of the icons.

различного кинематического типа ориентированы закономерно относительно слоистости (рис. 4): это стресс-стилолиты ВСВ простирания и перпендикулярно ориентированные к ним субвертикальные отрывы ССЗ ориентировки. Характерны широтные (ВСВ простирания) взбросы, правые сдвиги СЗ простирания и левые сдвиги ССВ простирания. С отрывами закономерно связаны сдвиговые нарушения сколового типа с углом скалывания, близким к 45° или меньшим (рис. 5).

Реконструировано ССЗ направление максимального сжатия (σ_3) в обстановке горизонтального сдвига и горизонтального сжатия в сочетании со сдвигом. Непосредственно сама зона Джанхотского нарушения представлена закрытым участком с отдельными выходами тектонитов и имеет протяженность вдоль побережья около 50 м. По Джанхотскому надвигу светлые преимущественно карбонатные отложения верхнего мела надвинуты на более темные терригенно-карбонатные отложения палеоцена. В лежащем крыле надвига расположена характерная Хотецайская синклиналь субширотного (до ВСВ) простирания. По Хотецайской синклинали сделаны наиболее представительные замеры. Отдельно проанализированы северное и южное крылья складки.

Участок «Северное крыло Хотецайской синклинали». Участок расположен непосредственно к югу от

Джанхотского надвига и представляет его лежащее крыло. Он охватывает побережье к северо-западу от хутора Джанхот и северное крыло Хотецайской синклинали с падениями на ЮЮЗ под углами 40–60°. В прибрежной части приядерная часть Хотецайской синклинали закрыта отложениями пляжа и прорезается речкой Хотецай. На северном крыле складки по данным наших структурных наблюдений фиксируются преимущественно сдвиговые нарушения, образующие сдвиговой парагенез ССЗ сжатия. При этом широтные правые взбросо-сдвиги имеют определенную в поле амплитуду смещения от 1 до 4 см. Зеркала скольжения взбросо-надвиговой кинематики имеют ВСВ простирание и, реже, «кавказское» ЗСЗ простирание. В ряде случаев наблюдается единое минеральное выполнение правых и левых сдвигов, что подтверждает единый структурный парагенез (сопряженная пара сколов). При этом максимальное сжатие (σ_3) ориентировано вдоль слоя, а отрывы используют плоскости слоистости. Поперечно простиранию слоистости развиты пологие и субвертикальные отрывы, а также крутопадающие кластические дайки с преимущественным падением на ЮВ (рис. 6). Реже отмечается крутое падение песчаных даек на СЗ.

Для слоистых толщ характерны связанные с плоскостями напластования структурные парагенезы, которые

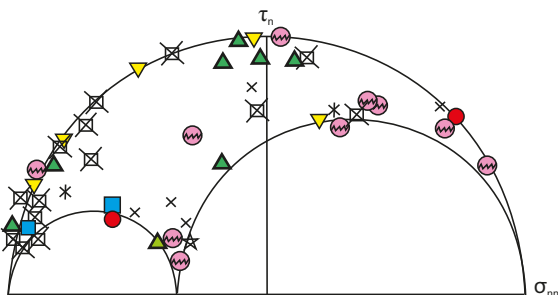


Рис. 5. Диаграмма Мора по данным реконструкции в точке наблюдений № 14297 (Джанхотский надвиг). Условные обозначения на рис. 4.

Fig. 5. The Moore diagram plotted based on the reconstruction data in observation point № 14297 (Dzhankhot thrust). The notations are given in Fig. 4.

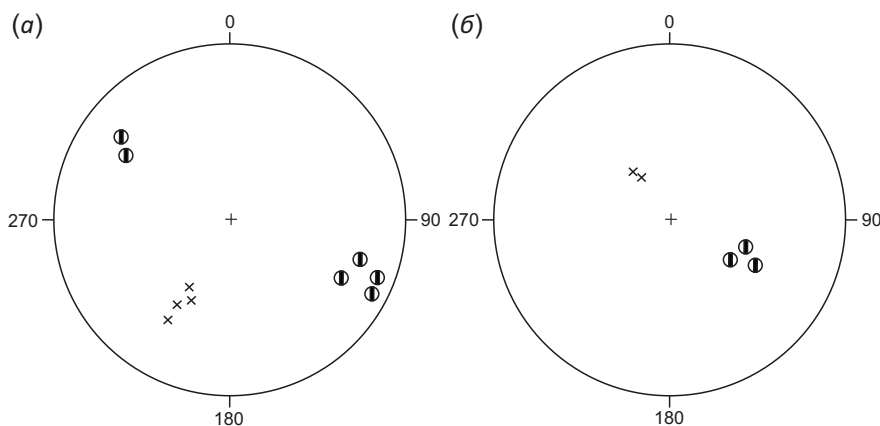


Рис. 6. Ориентация песчаных даек на северном (а) и южном (б) крыльях Хотецайской синклинали. На круговых диаграммах (стереографическая проекция верхней полусферы) показаны полюсы песчаных даек (кружки с вертикальной линией) и элементы залегания слоистости вмещающих пород (крестики).

Fig. 6. The orientation of sand dikes on the northern (a) and southern (b) flanks of the Khotetsai syncline. Circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) show the poles of sand dikes (vertical lines in circles) and strike and dip of bedding of the host rock (crosses).

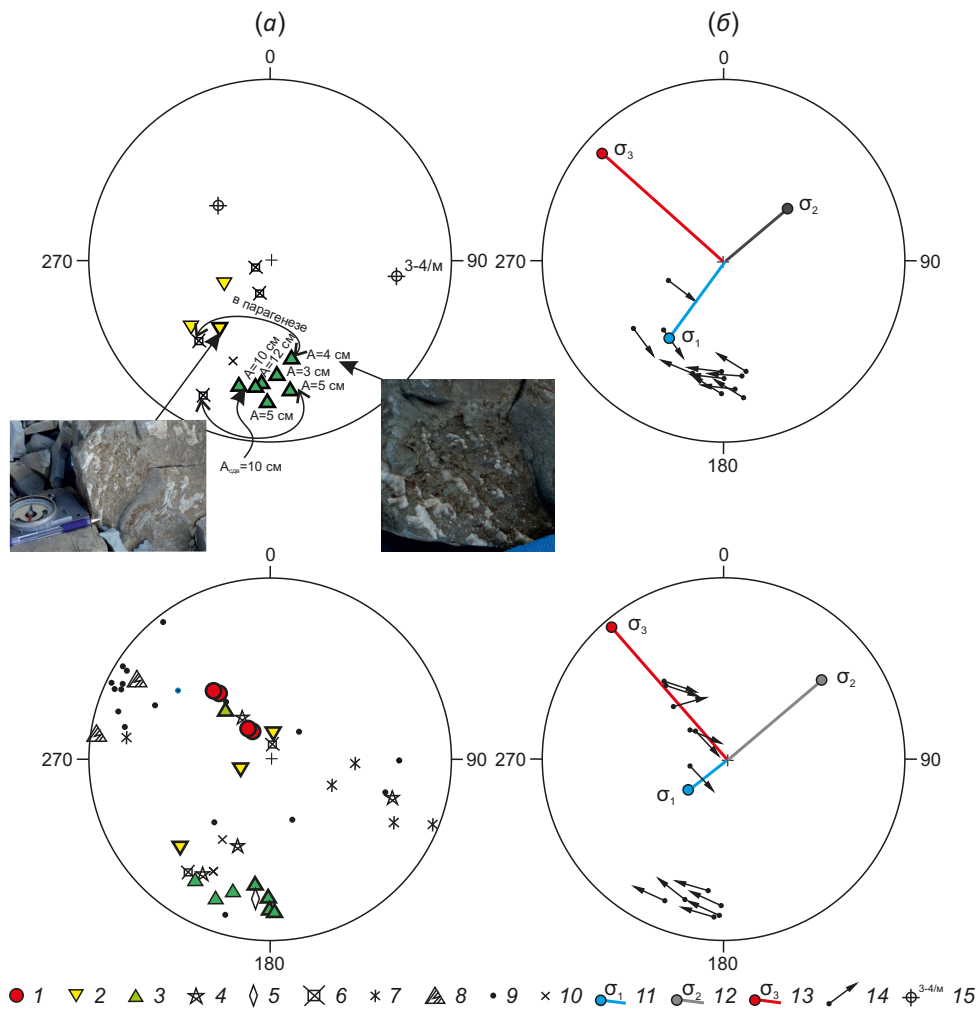


Рис. 7. Круговые диаграммы (стереографическая проекция верхней полусферы), показывающие полюсы плоскостей тектонических трещин разного типа (а) и положение осей главных напряжений, определенных методом катакластического анализа разрывных нарушений (б) в т.н. № 13184 (участок «Северное крыло Хотейсайской синклинали»). 1–9 – полюсы тектонических трещин с преимущественным типом перемещений: 1 – взбросы, 2 – левые сдвиги, 3 – правые сдвиги, 4 – взбросовые или сбросовые перемещения (по падению/восстанию без определения относительного направления), 5 – сдвиги (с неустановленным направлением относительного смещения), 6 – отрывы, 7 – жилы, 8 – зоны правосдвиговых дислокаций, 9 – тектонические трещины (без видимого смещения); 10 – элементы залегания слоистости (нормальное); 11–13 – оси главных нормальных напряжений: 11 – минимальных, 12 – промежуточных, 13 – максимальных; 14 – направление перемещения висячего блока в полюсах трещин (зеркал скольжения) со структурно-кинематическими данными, которые были использованы при реконструкции; 15 – полюсы систем тектонических трещин (с указанием количества трещин данной системы шт./м). Линиями соединены полюсы зеркал скольжения и отрывов, которые по полевым наблюдениям образуют структурно-парагенетическую ассоциацию. Полюсы плоскостей зеркал скольжения (условные знаки 1–3) с высокой степенью достоверности определения кинематики относительного смещения выделены толстой линией по краям значков, для некоторых – с указанием амплитуды смещения. Диаграммы верхнего ряда составлены по полевым данным А.В. Маринина, нижнего ряда – по полевым данным Т.Ю. Тверитиновой.

Fig. 7. Circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) showing poles of the planes of tectonic fractures of different types (a) and location of the principal stress axes determined by method of cataclastic analysis of faults (b) in observation point № 13184 (northern flank of the Khotetsai syncline). 1–9 – poles of tectonic fractures whose displacement follows the major patterns: 1 – reverse faults, 2 – left-lateral strike-slips, 3 – right-lateral strike-slips, 4 – reverse-fault or normal-fault displacements (in the dip/up-dip direction without determining relative direction), 5 – strike-slips (relative displacement direction undetermined), 6 – tension joints, 7 – veins, 8 – right-lateral dislocation zones, 9 – tectonic fractures (without apparent displacement); 10 – strike and dip of bedding (normal); 11–13 – axes of principal normal stresses: 11 – minimum, 12 – intermediate, 13 – maximum; 14 – direction of displacement of the hanging block in fracture (slickenside) poles with the structural-kinematic data used for the reconstruction; 15 – poles of tectonic fracture systems (indicating the number of fractures in the system per meter). The lines link the poles of slickensides to those of tension joints which form the structural-para-genetic association in accordance with the field observations. Poles of slickenside planes (notations 1–3) with reliable determination of the relative displacement kinematics are marked by a thick line along the edges of the icons, with some of displacement amplitudes indicated. The diagrams of the upper row are plotted based on the field data collected by A.V. Marinin, the diagrams of the lower row – on the field data collected by T.Yu. Tveritina.

представлены отрывами в компетентных прослоях, и ориентированные к ним под острым углом сдвиги (триада пары сколов и отрывной трещины по М.В. Гзовскому). На диаграмме, составленной по замерам в т.н. № 13184 (рис. 7), мы можем видеть близко расположенные структуры: левые сдвиги СЗ простираения, близкие к послойным отрывные трещины ЗСЗ простираения и правые сдвиги широтного простираения (рис. 8).

На северном крыле синклинали развиты также отрывные структуры и кластические дайки СВ простираения. Формирование этих структур связано с условиями СЗ растяжения и СВ максимального горизонтального сжатия. Частным вариантом этой обстановки могут быть и условия горизонтального растяжения – при субвертикальной ориентировке оси максимального сжатия (σ_3). Сколовые парагенезы образовывались позднее (что определяется по соотношению структур) в обстановке горизонтального сжатия и сдвига при ССЗ (до СЗ) ориентировке максимального сжатия (σ_3). По данным проведенной реконструкции на основе анализа зеркал скольжения оси максимального сжатия полого погружаются к центру складки (оси синклинали) на ЮЮВ. Есть несколько определений с пологим погружением на ССЗ. Промежуточные оси (σ_2) полого погружаются параллельно шарниру синклинали на ВЮВ. Зафиксированная нами мелкая антиклинальная складка также свидетельствует о ССЗ направлении максимального сжатия. Менее отчетливо выражены обстановки меридионального сжатия и субвертикального растяжения, отражающие проявление главного надвигового поля напряжений при смещениях по Джанхотскому надвигу. Это пологие взбросы, надвиги и субгоризонтальные отрывы, прямо свидетельствующие об обстановке горизонтального сжатия.

Участок «Южное крыло Хотецайской синклинали». К юго-востоку от пляжа хутора Джанхот изменяются элементы залегания слоистости и располагается уже южное крыло Хотецайской синклинали.

На южном крыле Хотецайской синклинали слоистость имеет северо-западное падение. В точке наблюдения № 13170 фиксируются крутопадающие отрывно-жильные структуры с кальцитовым выполнением ССВ простираения и кластические дайки с отчетливым падением на ЮВ, отражающие условия латерального СЗ растяжения (рис. 9). Многочисленны зеркала скольжения: сбросы в системе отрывов и взбросо-сдвиговые сколы в парагенезе с отрывами вдоль слоистости. В отличие от северного крыла, где сколы из этого парагенеза были представлены правыми и левыми сдвигами (взбросо-сдвигами), здесь они являются взбросами и правыми сдвигами. Их формирование происходило также в условиях СЗ сжатия, но не вдоль, а вкrest простираения складки, и поперечного к слоистости растяжения. Промежуточная ось (σ_2) субгоризонтальна и совпадает с шарниром складки (рис. 9).

Пологие правые сдвиги, фиксируемые здесь, фактически являются надвигами, по которым всяческое крыло надвигалось по азимуту СЗ 320° . Их структурная интерпретация заключается в том, что южное крыло Хотецайской синклинали надвигается на приядерную часть этой складки. В парагенезе к сдвигам наблюдаются отрывы с азимутом падения 295° , угол 30° с кальцитовым выполнением до 1–2 см. Для встречных надвигов и взбросов с азимутом падения 347° , угол 58° характерны более крутые углы наклона и надвигание от приядерной части синклинали к ее крылу (рис. 9).

Кинематические типы сопряженных сколов, закономерно связанных с напластованием, изменяются в зависимости от наклона слоев. Смещения по этим сколам приводят к сокращению размеров осадочной толщи вдоль слоистости и к их увеличению в поперечном направлении. Необходимо отметить, что в палеоценовых отложениях Хотецайской синклинали наиболее выраженные зеркала скольжения связаны с небольшими участками вдоль компетентных прослоев песчаников с карбонатным цементом. Это небольшие,

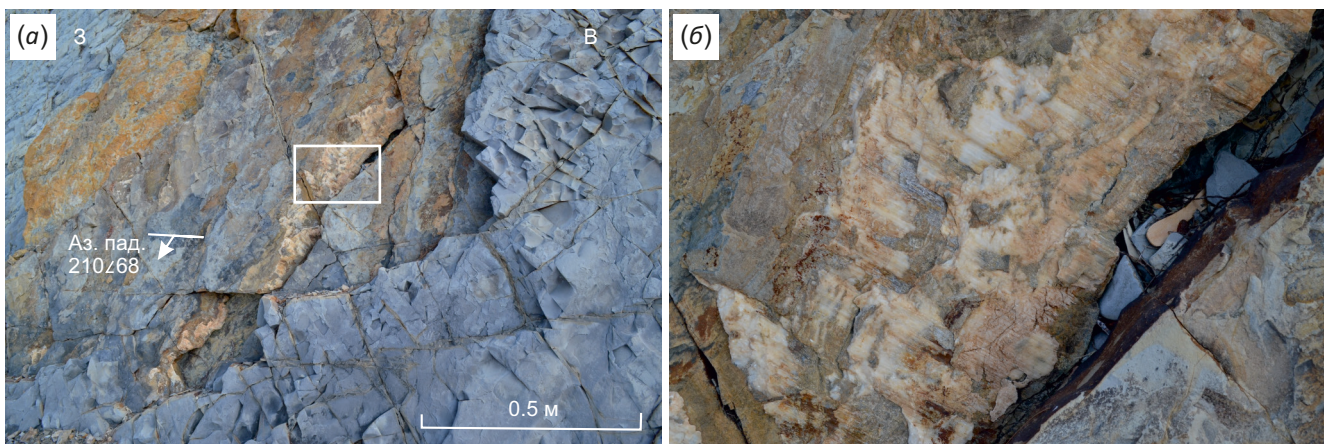


Рис. 8. Зеркало скольжения правосдвиговой кинематики с кальцитовой минерализацией (участок «Северное крыло Хотецайской синклинали»). (а) – общий вид, (б) – детальное строение скульптуры на плоскости зеркала скольжения.

Fig. 8. A slickenside from the dextral right-lateral strike-slip fault with calcite mineralization (northern flank of the Khotetsai syncline). (a) – a general view, (b) – a detailed sculptured surface structure on the slickenside plane.

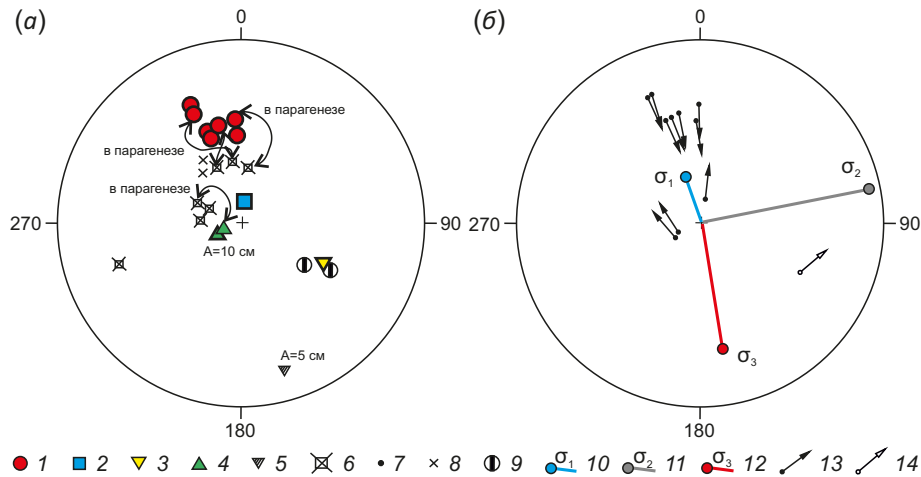


Рис. 9. Круговые диаграммы (стереографическая проекция верхней полусферы), показывающие полюсы плоскостей тектонических трещин разного типа (а) и положение осей главных напряжений, определенных методом катакlastического анализа разрывных нарушений (б) в т.н. № 13170 (участок «Южное крыло Хотецайской синклинали»).

1–7 – полюсы тектонических трещин с преимущественным типом перемещений: 1 – взбросы, 2 – сбросы, 3 – левые сдвиги, 4 – правые сдвиги, 5 – сместитель с определяемой левосдвиговой компонентой смещения (с указанием амплитуды), 6 – отрывы, 7 – тектонические трещины (без видимого смещения); 8 – элементы залегания слоистости (нормальное); 9 – песчаные дайки; 10–12 – оси главных нормальных напряжений: 10 – минимальных, 11 – промежуточных, 12 – максимальных; 13–14 – направление перемещения висячего блока в полюсах трещин (зеркал скольжения) со структурно-кинематическими данными, которые были использованы при реконструкции (13) и которые не привлекались к расчету (14). Линиями соединены полюсы зеркал скольжения и отрывов, которые, по полевым наблюдениям, образуют структурно-парагенетическую ассоциацию. Полюсы плоскостей зеркал скольжения (условные знаки 1–4) с высокой степенью достоверности определения кинематики относительного смещения выделены толстой линией по краям значков, для некоторых – с указанием амплитуды смещения.

Fig. 9. Circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) showing poles of the planes of tectonic fractures of different types (a) and location of the principal stress axes determined by method of cataclastic analysis of faults (b) in observation point № 13170 (southern flank of the Khotetsai syncline).

1–7 – poles of tectonic fractures whose displacement follows the major patterns: 1 – reverse faults, 2 – normal faults, 3 – left-lateral strike-slips, 4 – right-lateral strike-slips, 5 – fault plane with left-lateral displacement component determinable (identifying the amplitude), 6 – tension joints, 7 – tectonic fractures (without apparent displacement); 8 – strike and dip of bedding (normal); 9 – sand dikes; 10–12 – axes of principal normal stresses: 10 – minimum, 11 – intermediate, 12 – maximum; 13–14 – direction of displacement of the hanging block in fracture (slickenside) poles with the structural-kinematic data used for the reconstruction (13) and not involved in the calculation (14). The lines link the poles of slickenside planes to those of tension joints which form the structural-para-genetic association in accordance with the field observations. Poles of slickenside planes (notations 1–4) with reliable determination of the relative displacement kinematics are marked by a thick line along the edges of the icons, with some of displacement amplitudes indicated.

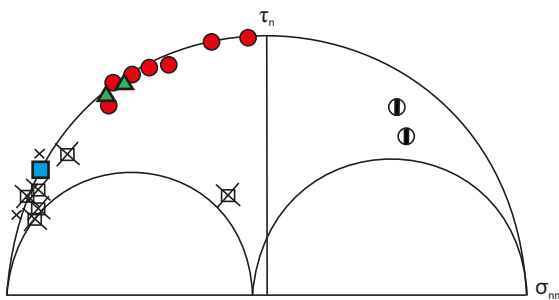


Рис. 10. Редуцированная диаграмма Мора по данным реконструкции в точке наблюдений № 13170 (южное крыло Хотецайской синклинали). Условные обозначения на рис. 9.

Fig. 10. The reduced Moore diagram plotted based on the reconstruction data in observation point № 13170 (southern flank of the Khotetsai syncline). The notations are given in Fig. 9.

но очень хорошей сохранности зеркал скольжения с мощным кальцитовым заполнением на отрывных хвостовых участках, возникающих при перемещении вдоль плоскости скольжения (см. рис. 8). На подобных структурах хорошо выражено правило Гофера (Höfer’s rule) по определению направления смещения крыльев нарушения. Эти зеркала скольжения ориентированы под острым углом к плоскостям напластования и образуют характерные парагенезы сколов с малыми углами

скалывания, с биссектрисой которых совпадает слоистость и формирующиеся вдоль нее небольшие отрывы. В большинстве случаев наблюдается единое минеральное выполнение сколовых структур и отрывов, что подтверждает их парагенетическое единство. Кроме того, закономерное расположение сколовых и отрывных структур мы видим и на построенных диаграммах Мора (рис. 10). Плоскости зеркал скольжения располагаются вблизи полосы разрушения, а парагенетически

связанные с ними отрывы находятся около оси девиаторного растяжения. Формирование этих парагенезов отражает условия максимального сжатия вдоль слоистости и одновременно поперечного слоистости растяжения.

На крыльях Хотецайской синклинали расположены специфические образования – дайки (рис. 11), выполненные песчаным материалом [Marinin, 2001, 2003]. Подобные внедрения песчаных даек наиболее часто встречаются в осадках с сильной водонасыщенностью в условиях лавинной седиментации. Данные дайки

являются индикаторами палеостресса для времени образования таких гидроразрывных структур на стадии диа- и катагенеза. В современном положении дайки имеют северо-восточное простирание с преимущественными углами падения от 45 до 85° (на юго-восток) и около 70–75° на северо-запад (см. рис. 6). При этом на южном крыле Хотецайской синклинали дайки имеют только юго-восточные падения и иногда с более пологими углами (до 30–40°). Характерная мощность песчаных даек составляет от первых сантиметров до 1 м.



Рис. 11. Песчаные дайки на южном крыле Хотецайской (Устьевой) синклинали. Геологический компас в нижней части фотографии для масштаба.

Fig. 11. Sand dikes on the southern flank of the Khotetsai (Ustyevaya) syncline. A geological compass at the bottom of the photograph is for scale.



Рис. 12. Северное опрокинутое крыло и приядерная часть Парусной синклинали (к северо-востоку от Прасковеевского пляжа) с выходами мощных песчаников свиты горячего ключа (палеоцен).

Fig. 12. The overturned northern flank and an area near the core of the Parus syncline (to the northeast of the Praskoveevka beach) with a thick exposure of sandstones of the Goryachy Klyuch Formation (Paleocene).

При анализе взаиморасположения песчаных даек и слоистости обращает на себя внимание тот факт, что дайки ориентированы преимущественно ортогонально к слоистости и при приведении слоистости к горизонтальному положению занимают субвертикальное положение при северо-восточном простирании. Дайки смещены как послойными нарушениями, связанными с формированием Хотецайской синклинали, так и более поздними разрывными нарушениями. Дайки нарушены зеркалами скольжения и отрывами с кальцитовыми минерализацией. В матрике разрывной зоны южнее Хотецайской синклинали наблюдалась тектоническая брекчия с обломками песчаных даек. Вышеизложенное позволяет предположить северо-восточное направление максимального сжатия в горизонтальной плоскости, действовавшего здесь во время образования песчаных даек и до образования Хотецайской синклинали (точнее можно сказать, что максимальное девиаторное растяжение во время формирования данных структур было ориентировано в СЗ направлении).

Поскольку складчатые и разрывные структуры Хотецайской синклинали формировались при ССЗ (до СЗ) направлении максимального сжатия, в данном случае можно предполагать изменение СВ сжатия на ССЗ. При этом ССЗ направление максимального горизонтального сжатия проявлено хрупкими разрывными нарушениями (зеркалами скольжения), а на более ранней синседиментационной стадии в условиях северо-восточного горизонтального сжатия и северо-западного растяжения формировались песчаные дайки. Смена направления максимального горизонтального сжатия некоторым образом согласуется с точкой зрения об изменении в течение позднеальпийского цикла плана деформаций с северо-восточного на субмеридиональное [Giorgobiani, Zakaraya, 1989]. Однако следует отметить, что между Геленджикской и Туапсинской поперечными зонами в блоке, охватывающем Северскую и Псекупскую поперечные ступени, хорошо проявлены меридиональное и северо-западное направления максимального сжатия, а роль северо-восточного сжатия здесь резко уменьшена [Marinin, 2003], т. е. к западу от Туапсинской флексуно-разломной зоны, в относительно опущенном блоке, в котором происходит существенное погружение тектонических структур Кавказа и их смещение по правому сдвигу, отмечается ослабление северо-восточного сжатия. В этой области мы наблюдаем складчатые структуры ВСВ простирания, отличные от Кавказского регионального ЗСЗ «тренда». Вышеобозначенное предполагаемое изменение плана деформаций проявлено далеко не во всех районах и структурах и скорее обусловлено, на наш взгляд, характером локальной тектодинамической обстановки данного сегмента Северо-Западного Кавказа.

Участок «Парусная синклинали». Точки наблюдения участка расположены на северном крыле Парусной синклинали (рис. 12). Участок охватывает побережье к северо-западу от Прасковеевского пляжа и район щели Петрокос. Отложения представлены ритмичным

переслаиванием песчаников и глинистых известняков палеоцена. Породы на северном крыле Парусной синклинали находятся в вертикальном или даже опрокинутом залегании, что устанавливается по гиероглифам по подошве песчаников и по непосредственным наблюдениям изменения элементов залегания в ядре синклинали. Наблюдаются «торцовые» сочленения слоев. В т.н. 13179 мощный вертикально залегающий пласт песчаника (до 1.5 м) образует отдельно стоящую скалу «Парус» (рис. 13). Перпендикулярно широтному простиранию слоистости здесь наблюдаются отрывы с двумя основными ориентировками – крутопадающие меридионального простирания и пологие субгоризонтальные отрывы. В парагенезе с субвертикальными меридиональными отрывами четко выражены СЗ простирания правых сдвигов и СВ простирания левых сдвигов (рис. 14, 15). По широтной субслоистой системе нарушений встречаются зеркала скольжения различного типа (сдвиговая составляющая), с пологими системами трещиноватости связаны пологие взбросы и надвиги. В целом для участка «Парусная синклинали» реконструировано субмеридиональное (до ССЗ) сжатие в обстановке горизонтального сдвига.



Рис. 13. Скала «Парус», образованная мощным слоем песчаника в вертикальном залегании (т.н. № 13179, участок «Парусная синклинали»).

Fig. 13. The Parus Rock, which is composed of thick vertically bedded sandstone (observation point № 13179, Parus syncline).

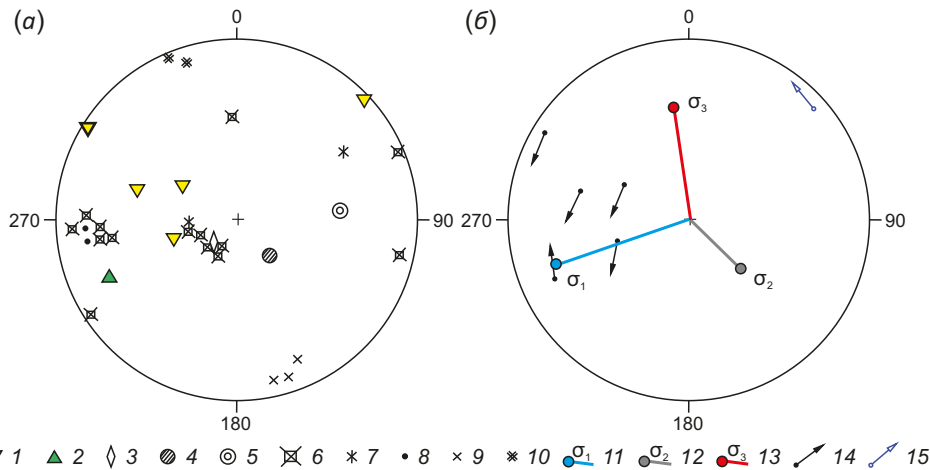


Рис. 14. Круговые диаграммы (стереографическая проекция верхней полусферы), показывающие полюсы плоскостей тектонических трещин разного типа (а) и положение осей главных напряжений, определенных методом катакlastического анализа разрывных нарушений (б) в т.н. № 13179 (участок «Парусная синклираль»).

1–7 – полюсы тектонических трещин с преимущественным типом перемещений: 1 – левые сдвиги, 2 – правые сдвиги, 3 – сдвиги с неустановленным направлением относительного смещения, 4 – сместитель с определенной взбросовой компонентой смещения, 5 – зоны дробления, 6 – отрывы, 7 – жилы; 8 – тектонические трещины (без видимого смещения); 9–10 – элементы залегания слоистости (9 – нормальное, 10 – опрокинутое); 11–13 – оси главных нормальных напряжений: 11 – минимальных, 12 – промежуточных, 13 – максимальных; 14–15 – направление перемещения висячего блока в полюсах трещин (зеркал скольжения) со структурно-кинематическими данными, которые были использованы при реконструкции (14) и которые не привлекались к расчету (15). Замер с высокой степенью достоверности определения кинематики относительного смещения выделен толстой линией по краям значка (левый сдвиг).

Fig. 14. Circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) showing poles of the planes of tectonic fractures of different types (a) and location of the principal stress axes determined by method of cataclastic analysis of faults (б) in observation point № 13179 (Parus syncline).

1–7 – poles of tectonic fractures whose displacement follows the major patterns: 1 – left-lateral strike-slips, 2 – right-lateral strike-slips, 3 – strike-slips relative displacement direction undetermined, 4 – fault plane with reverse-fault displacement component determinable, 5 – crush zones, 6 – tension joints, 7 – veins; 8 – tectonic fractures (without apparent displacement); 9–10 – strike and dip of bedding (9 – normal, 10 – overturned); 11–13 – axes of principal normal stresses: 11 – minimum, 12 – intermediate, 13 – maximum; 14–15 – direction of displacement of the hanging block in fracture (slickenside) poles with the structural-kinematic data used for the reconstruction (14) and not involved in the calculation (15). A reliable measurement of the relative displacement kinematics is marked by a thick line along the edges of the icon (left-lateral strike-slip).

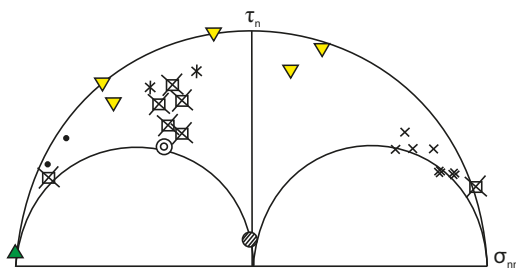


Рис. 15. Редуцированная диаграмма Мора по данным реконструкции в точке наблюдений № 13179 (северное опрокинутое крыло Парусной синклинали).

Fig. 15. The reduced Moore diagram plotted based on the reconstruction data in observation point № 13179 (overturned northern flank of the Parus syncline).

5. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Рассмотрим в целом полученные данные реконструкции по исследованному району. По собранным данным для 27 точек наблюдения удалось определить основные параметры напряженно-деформированного состояния. В каждой из этих точек реконструировано положение осей главных напряжений и деформаций, коэффициент Лодэ – Надаи, угол альфа и т.д. Полученные сведения приведены в Прил. 1, табл. 1.1. Вместе эти параметры характеризуют локальное стресс-состояние, или стресс-тензор, в точке наблюдения.

Высокая достоверность собранных полевых тектонофизических данных определила очень хорошую корреляцию получаемых данных реконструкции. Следует отметить, что все полученные результаты определений палеостресса хорошо соотносятся с положением точек наблюдения в региональной тектонической структуре. Закономерно и плавно по точкам наблюдения изменяется направление и угол погружения осей главных напряжений при переходе от одного элемента тектонической структуры (крылья складки и надвига) к другому. По собственным замерам в одной точке по разному набору геологических стресс-индикаторов данные

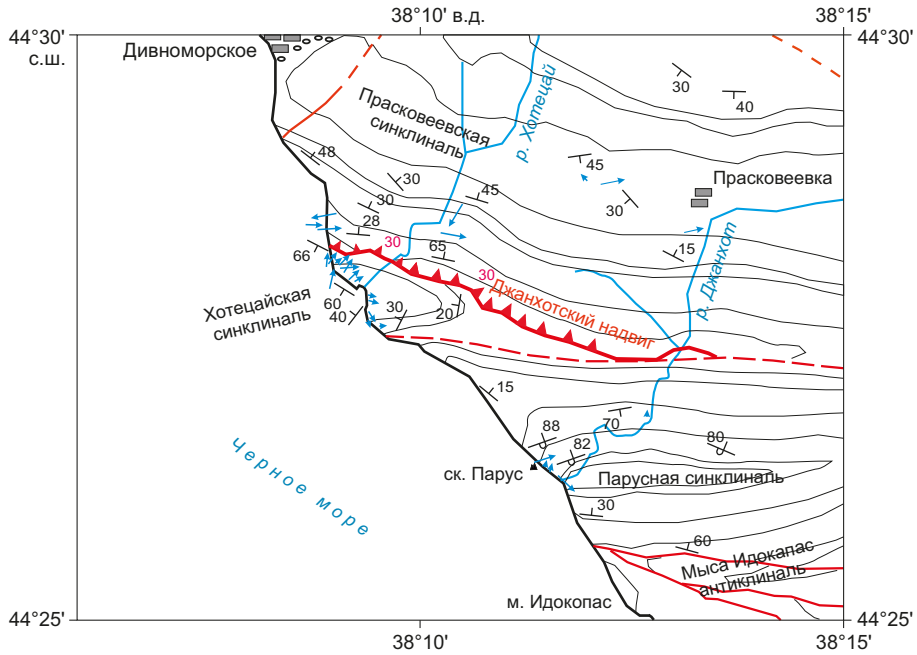


Рис. 16. Ориентировка осей минимальных сжимающих напряжений (девиаторное растяжение) района исследований. Стрелками показаны проекции осей (σ_1) минимальных сжимающих напряжений. Стрелки направлены в сторону погружения, а их длина указывает на угол наклона оси – при крутом погружении стрелки короткие, при пологом – длинные. Структурными линиями и элементами залегания слоистости на карте показаны положение и морфология складок.

Fig. 16. Orientation of axes of the minimum compression stresses (deviation extension) in the study area. The arrows show the projections of σ_1 axes of the minimum compression stresses. The arrows are directed towards the plunge, with their length showing the axial slope angle – they are short when the axes plunge steeply and long when the axes plunge gently. The structural lines and strike and dip of the beds on the map show the position and morphology of the folds.

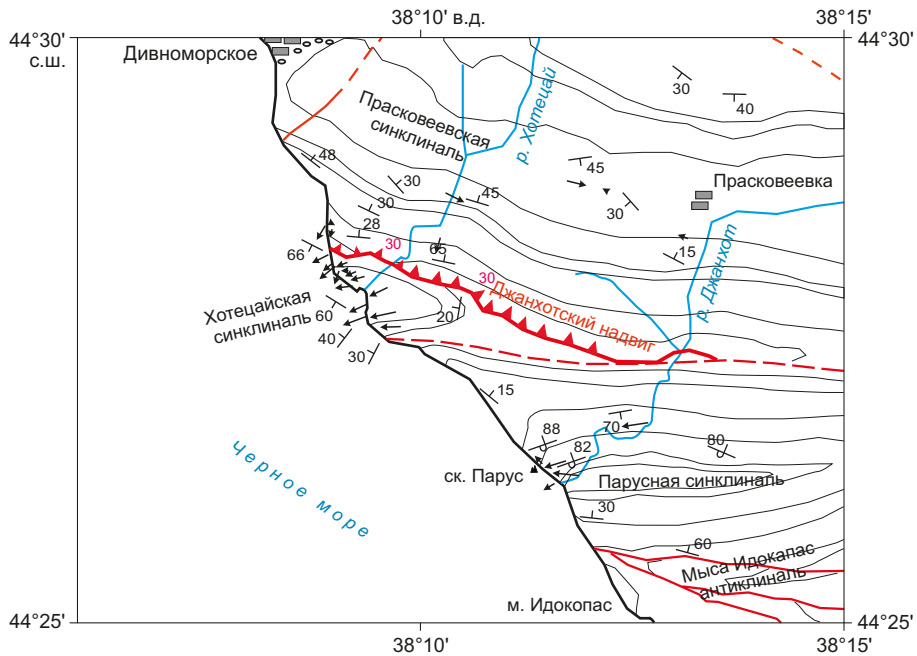


Рис. 17. Ориентировка осей промежуточных сжимающих напряжений (σ_2) района исследований. Стрелками показаны проекции осей, направленных в сторону их погружения. Длина стрелок указывает на угол наклона оси – при крутом погружении стрелки короткие, при пологом – длинные. Структурными линиями и элементами залегания слоистости на карте показаны положение и морфология складок.

Fig. 17. Orientation of axes of the intermediate compression stresses in the study area. The arrows show the projections of σ_2 axes directed towards their plunge. The length of the arrows shows the axial slope angle – they are short when the axes plunge steeply and long when the axes plunge gently. The structural lines and strike and dip of the beds on the map show the position and morphology of the folds.

каждого из авторов показали очень близкие значения реконструированных локальных стресс-тензоров (см. рис. 7). Таким образом, получаемые на Джанхотском тектонофизическом полигоне данные могут рассматриваться как своеобразная природная лаборатория для изучения тектонических напряжений при формировании складчатой структуры.

Полученные направления действия осей главных напряжений представлены на рис. 16, 17, 18. Рассмотрим характерные максимумы их распределения в целом по

району. Оси минимальных сжимающих напряжений (девиаторное растяжение) погружаются к СВ под углом от 40 до 90° или располагаются субгоризонтально в широтном направлении. Оси промежуточных напряжений ориентированы в основном субширотно (BCB 70°) и субгоризонтально (рис. 19).

Лучше всего данные реконструкции согласуются с основными складчатыми структурами района (рис. 20). Для северного крыла надвига, представленного широкой Прасковеевской синклиной и расположенной

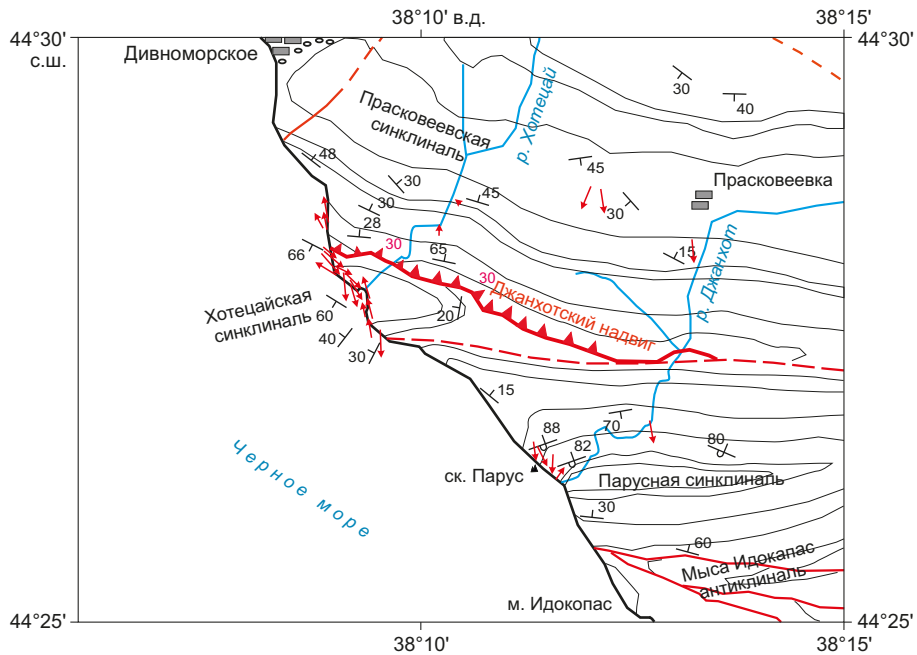


Рис. 18. Ориентировка осей максимальных сжимающих напряжений района исследований. Стрелками показаны проекции осей (σ_3) максимальных сжимающих напряжений. Стрелки направлены в сторону погружения, а их длина указывает на угол наклона оси – при крутом погружении стрелки короткие, при пологом – длинные. Структурными линиями и элементами залегания слоистости на карте показаны положение и морфология складок.

Fig. 18. Orientation of axes of the maximum compression stresses in the study area. The arrows show the projections of σ_3 axes of the maximum compression stresses. The arrows are directed towards the plunge, with their length showing the axial slope angle – they are short when the axes plunge steeply and long when the axes plunge gently. The structural lines and strike and dip of the beds on the map show the position and morphology of the folds.

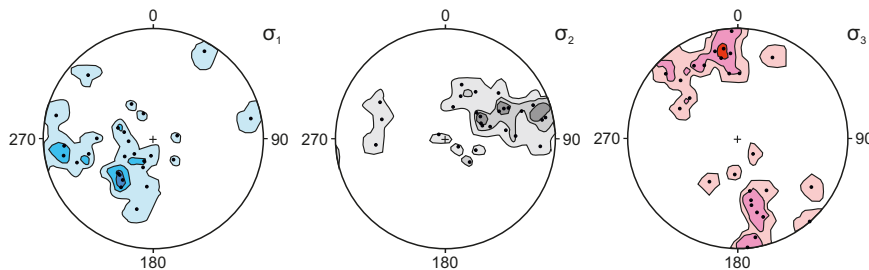


Рис. 19. Ориентировка осей главных напряжений Джанхотского полигона. На круговых диаграммах (стереографическая проекция верхней полусферы) показаны выходы осей главных напряжений и изолинии равной плотности их распределения (цветовая заливка). Оси σ_1 , σ_2 , σ_3 – минимальных (девиаторное растяжение), промежуточных и максимальных сжимающих напряжений.

Fig. 19. Orientation of the principal stress axes in the Dzhankhot testing ground. Circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) show the emergence of principal stress axes and isolines of their equal distribution density (spot color). σ_1 , σ_2 , σ_3 are the axes of the minimum (deviator extension), intermediate and maximum compression stresses.

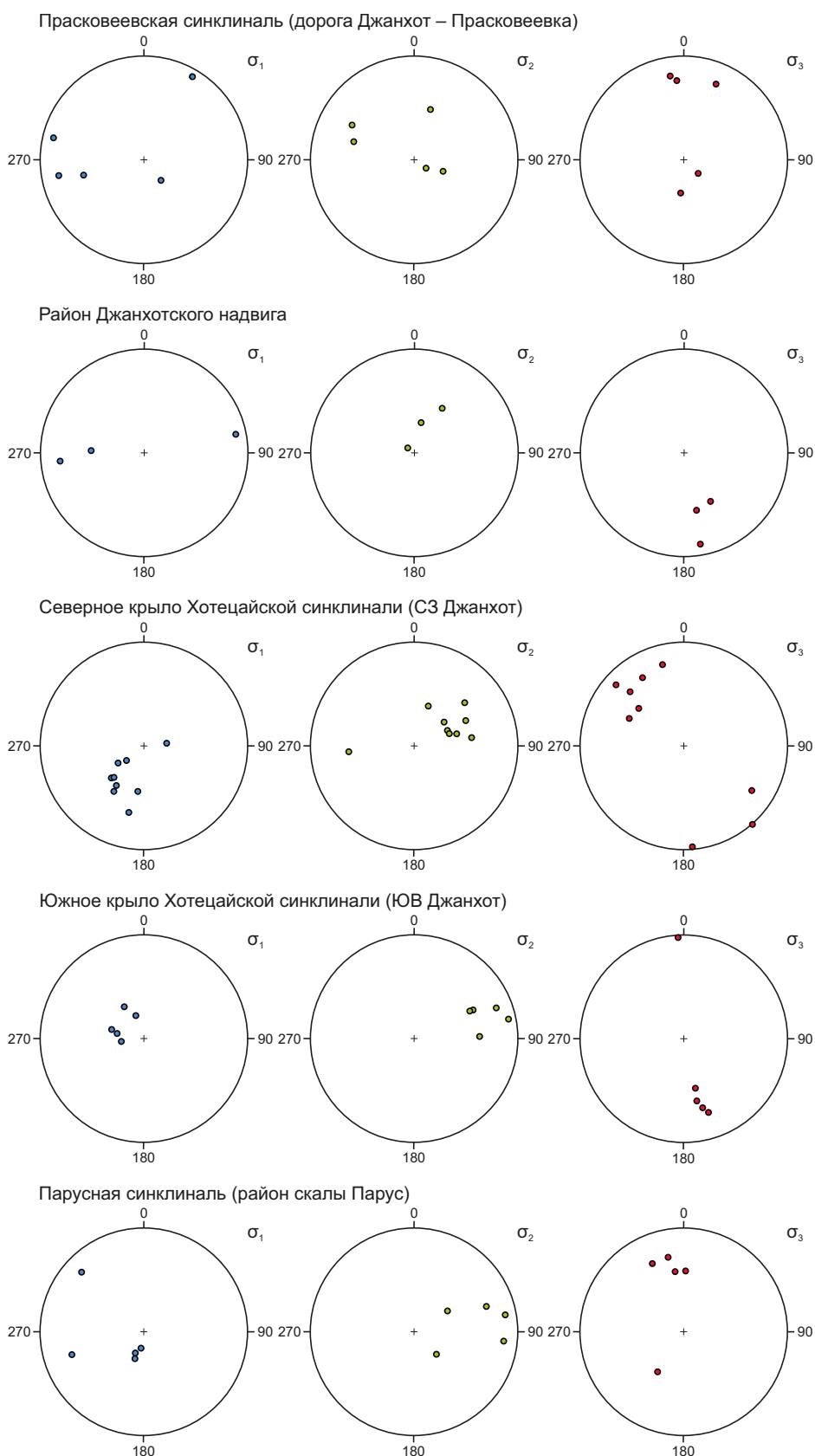


Рис. 20. Ориентировка осей главных напряжений на разных участках исследованного района. На круговых диаграммах (стереографическая проекция верхней полусферы) показаны выходы осей главных напряжений: σ_1 – минимальных (девиаторное растяжение), σ_2 – промежуточных и σ_3 – максимальных сжимающих.

Fig. 20. Orientation of the principal stress axes in different parts of the study area. Circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) show the emergence of principal axes of: σ_1 – minimum (deviation extension), σ_2 – intermediate and σ_3 – maximum compression stresses.

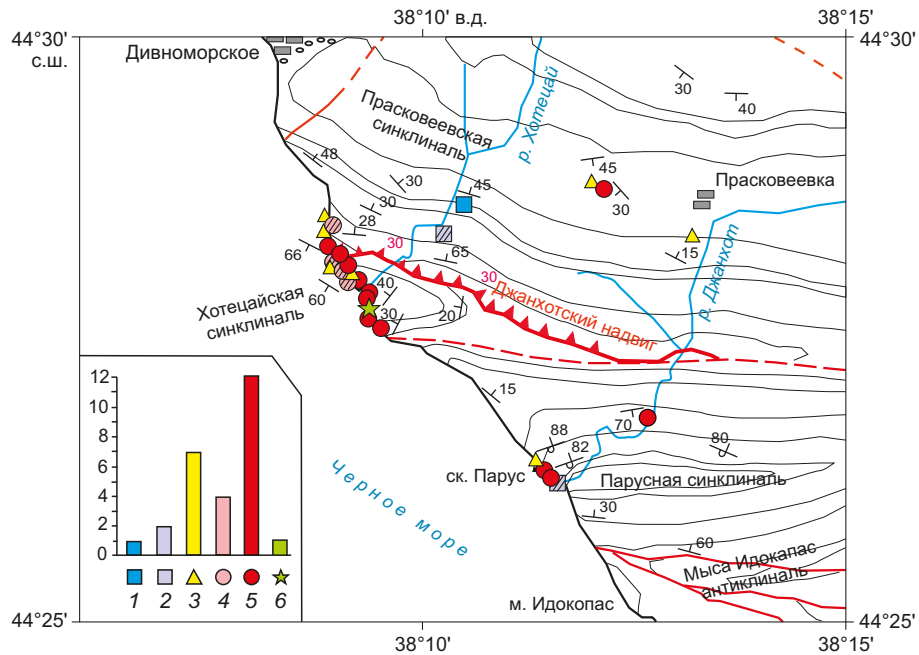


Рис. 21. Типы напряженного состояния района исследования, определенные по собранным геологическим индикаторам палеонапряжений при помощи метода катакlastического анализа разрывных нарушений.

1 – горизонтальное растяжение; 2 – горизонтальное растяжение в сочетании со сдвигом; 3 – горизонтальный сдвиг; 4 – горизонтальное сжатие в сочетании со сдвигом; 5 – горизонтальное сжатие; 6 – сдвиг в вертикальной/горизонтальной плоскости.

Fig. 21. Stress-state types in the study area determined from the collected geological indicators of paleostresses by method of cataclastic analysis of faults.

1 – horizontal extension; 2 – horizontal extension in combination with shear; 3 – horizontal shear; 4 – horizontal compression in combination with shear; 5 – horizontal compression; 6 – shear in the vertical/horizontal plane.

непосредственно в зоне надвига узкой Прасковеевской антиклиналью, характерно меридиональное направление максимального сжатия и широтное направление максимального девиаторного растяжения. Соответственно, в висячем крыле Джанхотского надвига преобладает обстановка горизонтального сдвига (рис. 21). Для расположенной южнее Хотецайской синклинали, в особенности северного крыла складки в непосредственной близости от Джанхотского надвига, характерна СЗ ориентация оси максимального сжатия. Для приосевой части синклинали и ее южного крыла определена ССЗ ориентация оси максимального сжатия. Погружение осей максимального сжатия направлено к приосевой части складки. Ориентировка промежуточных осей сжимающих напряжений совпадает с погружением шарнира складки. Оси минимальных сжимающих напряжений ориентированы субвертикально.

Для Хотецайской синклинали преобладающим типом напряженного состояния является горизонтальное сжатие. Примерно такие же параметры напряженного состояния характерны и для расположенной южнее Парусной синклинали, причем субгоризонтальная ориентировка оси максимального сжатия и субвертикальная ориентировка оси растяжения не меняются и при субвертикальных элементах залегания слоистости. В геологических структурах это выражается в доминировании отрывных трещин, близких к слоистости (для субгоризонтально залегающих отложений) или резко

секущих пласты (для субвертикального залегания). Анализируя траектории осей максимального сжатия в целом по району, можно отметить изменение их направления в зоне Джанхотского надвига. Если к югу и северу от зоны основного нарушения данные траектории имеют ССЗ направление, то непосредственно вблизи разрывной зоны они отклоняются до северо-западной ориентации (рис. 22). Это согласуется с работами Д.Н. Осокиной [Osokina, 2000], касающимися изменения напряженно-деформированного состояния в зоне разломов, и может указывать на правсдвиговую компоненту, вызвавшую подобные отклонения.

Определенные нами при палеостресс-реконструкции параметры поля напряжений района Джанхотского надвига близки по типу напряженного состояния и ориентировке осей главных напряжений к полученным для смежных (более восточных) районов Западного Кавказа по результатам реконструкции современного поля напряжений [Rebetsky, 2020] с использованием сейсмологических данных. Для части Северо-Западного Кавказа, в которой располагается район наших исследований, не удастся провести реконструкцию современного напряженного состояния ввиду недостатка сейсмологических данных. Полученные данные по относительно локальному участку складчатого сооружения хорошо соотносятся с общей региональной структурой, при формировании которой на всем протяжении позднеальпийской эпохи проявлялось субмеридиональное

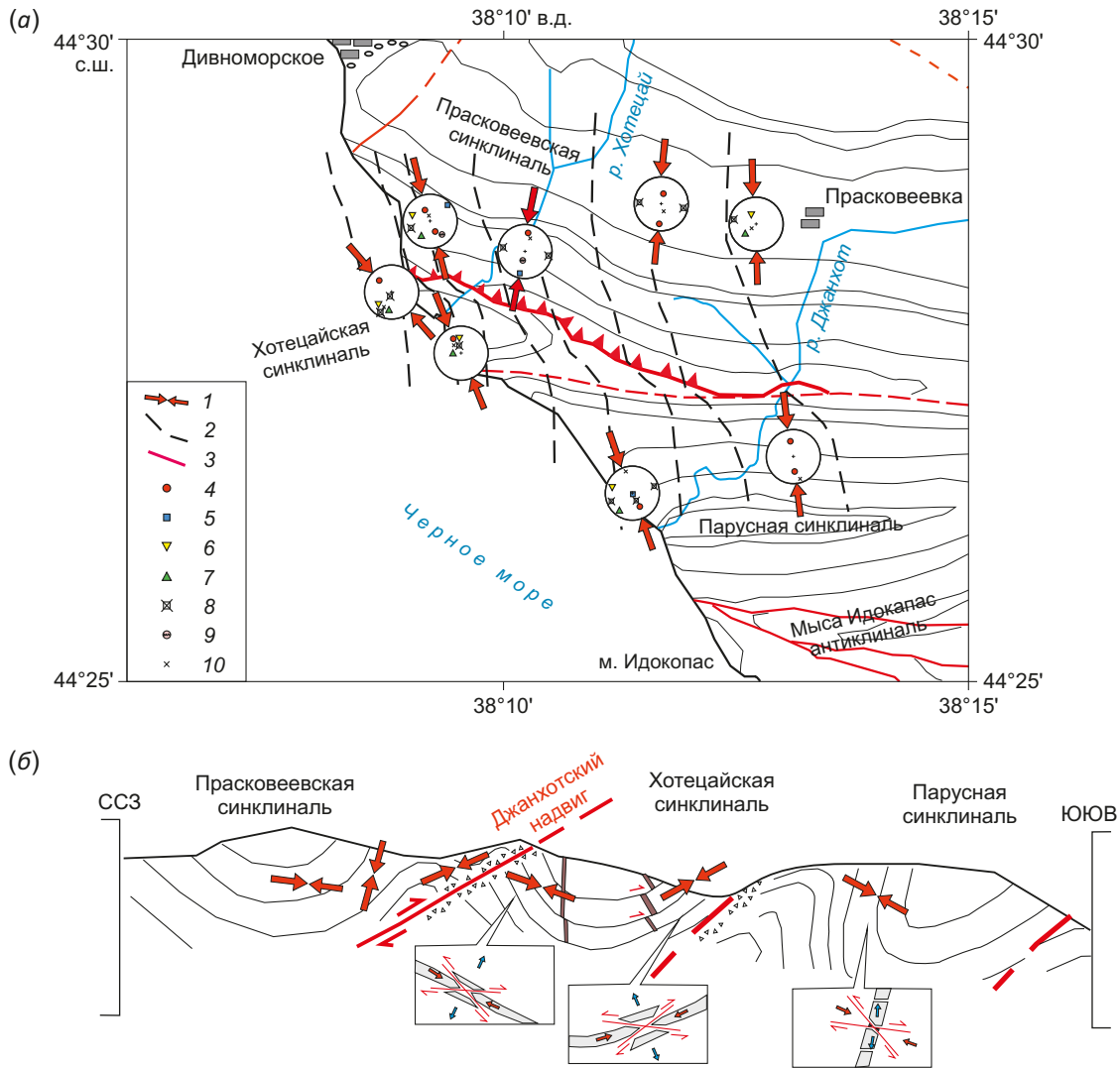


Рис. 22. Схема траекторий максимального сжатия (а) и схематичный разрез (б) района Джанхотского надвига. 1 – ориентация оси максимального сжатия; 2 – траектории максимального сжатия; 3 – разрывные нарушения; 4–10 – обозначения для круговых диаграмм (стереографическая проекция верхней полусферы), на которых для определенного участка показано характерное положение полюсов мелких разрывных нарушений и зеркал скольжения (соответствующего кинематического типа): взбросы и надвиги (4), сбросы (5), левые (6) и правые (7) сдвиги, отрывы (8), стресс-стилолиты (9), а также наиболее характерные элементы залегания слоистости (10).

Fig. 22. Scheme of trajectories of the maximum compression (a) and a schematic sectional view (b) of the Dzhankhot thrust zone. 1 – orientation of the maximum compression axis; 2 – trajectories of the maximum compression; 3 – faults; 4–10 – notations for circle diagrams (the upper hemisphere stereographic projection) showing the location of poles of minor faults and slickensides (of the corresponding kinematic type): reverse faults and thrusts (4), normal faults (5), left-lateral (6) and right-lateral (7) strike-slips, tension joints (8), stress-styrolites (9), and strike and dip of bedding most typical therein (10).

направление максимального горизонтального сжатия с сочетанием обстановок сжатия и сдвига [Rastsvetaev et al., 2010].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных в районе Джанхотского надвига полевых тектонофизических исследований получены подробные сведения по разным типам малых структурных форм, в которых запечатлены тектонические деформации. Собранные сведения по геологическим индикаторам деформаций использованы для реконструкции основных параметров локальных

стресс-тензоров. Проведенные исследования позволили охарактеризовать напряженно-деформированное состояние для разных тектонических элементов района и установить различия по ориентации осей главных напряжений/деформаций и типу напряженного состояния, а также определить ряд структурно-хронологических соотношений и преобладающую в районе исследований кинематику разрывных систем.

Установлены четкие структурные парагенезы, включающие структуры отрыва и скола, формировавшиеся при разных ориентировках осей главных напряжений (рис. 22). Региональные парагенезы связаны с условиями

СВ и субмеридионального сжатия, при которых формировались главные региональные структуры – региональные зоны сжатия СЗ ориентировки (кавказский структурный план) и субширотные складки и осложняющие их разрывы взбросо-надвигового типа (в частности, Джанхотский надвиг). В разных частях этих региональных структур появляются вариации внутри регионального поля напряжений с изменением преимущественных ориентировок осей главных напряжений. Здесь формируются разрывные и складчатые структуры с существенно отличающимися от региональных ориентировками. Кроме выявленной зависимости от структурного положения, на характер напряженно-деформированного состояния накладываются также особенности строения слоистой осадочной толщи (литологический состав с разными прочностными характеристиками, разная мощность прослоев и т.д.).

Проведенная нами реконструкция напряженно-деформированного состояния показала, что для исследованного района характерно заметное преобладание обстановок горизонтального сжатия и горизонтального сжатия со сдвигом (см. рис. 21). При этом для северного висячего крыла Джанхотского надвига в ряде мест фиксируются также и обстановки горизонтального растяжения со сдвигом. Ориентация осей главных напряжений по данным проведенной реконструкции достаточно выдержанная. Оси максимального сжатия характеризуются в целом меридиональным направлением, несколько отклоняясь от данного направления на северном крыле Хотцайской синклинали до СЗ направления. Севернее, в висячем крыле надвига, напротив, ось максимального сжатия отклоняется до ССВ направления. Оси максимального растяжения в южной части зоны надвига в основном субвертикальны. В северной части они субвертикальны или же при субгоризонтальном положении направлены субширотно. Выявленные особенности напряженно-деформированного состояния зоны Джанхотского надвига четко свидетельствуют о его надвиговой кинематике.

Северо-восточное направление максимального горизонтального сжатия было проявлено в зарождающейся антиклинальной зоне, и с этой обстановкой связано формирование песчаных даек. Доскладчатые песчаные дайки имели первоначально СВ простирание. Зона была ориентирована в ЗСЗ направлении (как и другие крупные региональные складки), и формирование в ней структур растяжения СВ простирания указывает на левосдвиговую составляющую вдоль зоны.

Системы стресс-стилолитов формировались в условиях ССВ и ССЗ (до СЗ) максимального сжатия преимущественно на доскладчатом этапе, но в принадлежной части они часто связаны с формированием и самих складчатых структур. Усиление субмеридионального сжатия привело к сосредоточению складчатых деформаций именно в антиклинальной зоне, что привело к образованию Джанхотского надвига. Основные тектонические структуры района исследований образовались при субмеридиональном сжатии в транспрессионных

условиях (взбросо-надвиговые и, вероятно, правосдвиговые подвижки по разлому). Направление максимального сжатия варьируется от меридионального в висячем крыле Джанхотского надвига до СЗ сжатия в лежащем крыле разрывного нарушения и на его западном фланге. Наиболее активными тектонические движения, выраженные в усложнении складчатой структуры и увеличении количества малых разрывных нарушений, были в лежащем крыле надвига, где в условиях СЗ сжатия возникла, в частности, и Хотцайская синклиналь. Севернее, ближе к осевой части Прасковеевской синклинали, элементы залегания становятся более пологими, а тектонических нарушений и геологических стресс-индикаторов также становится существенно меньше. Встречаются здесь и обстановки горизонтального растяжения.

Выявленные особенности тектонического строения и напряженно-деформированного состояния района Джанхотского надвига позволяют рассматривать эту территорию в качестве природного тектонофизического полигона, на котором возможно решать методические вопросы реконструкции (инверсии) тектонических напряжений по натурным данным и проводить исследования особенностей строения складчатых и разрывных структур.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны [Л.М. Расцветаеву], С.Г. Корсакову, Ю.Л. Ребецкому, С.М. Горбовой, О.Н. Яковлевой и Р.С. Алексею за помощь при организации и проведении полевых работ, а также при обсуждении материалов исследования.

8. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

9. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

10. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Angelier J., 1979. Determination of the Mean Principal Directions of Stresses for a Given Fault Population. *Tectonophysics* 56 (3–4), T17–T26. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90081-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90081-7).

Borukaev Ch.B., 1964. Tectonic Structure of the South-eastern Part of the Novorossiysk Synclinorium (North-western Caucasus) and History of Its Formation. Brief PhD Thesis (Candidate of Geology and Mineralogy). Moscow, 16 p. (in Russian) [Борукаев Ч.Б. Тектоническая структура

юго-восточной части Новороссийского синклинория (Северо-Западный Кавказ) и история ее формирования: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1964. 16 с.].

Borukaev Ch.B., 1970. On Palinspastic Reconstructions. *Geotectonics* 6, 23–29 (in Russian) [Борукаев Ч.Б. О палинспастических построениях // Геотектоника. 1970. № 6. С. 23–29].

Giorgobiani T.V., Zakaraya D.P., 1989. Folded Structure of the Northwestern Caucasus and Its Formation Mechanism. *Metzniereba*, Tbilisi, 60 p. (in Russian) [Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Складчатая структура Северо-Западного Кавказа и механизм ее формирования. Тбилиси: Мецниереба, 1989. 60 с.].

Gushchenko O.I., 1975. Kinematic Principle of the Reconstruction of Principal Stress Axes (from the Geological and Seismological Data). *Doklady of the USSR Academy of Sciences* 225 (3), 557–560 (in Russian) [Гущенко О.И. Кинематический принцип реконструкции направлений главных напряжений (по геологическим и сейсмологическим данным) // Доклады АН СССР. 1975. Т. 225. № 3. С. 557–560].

Khain V.E., Afanasyev S.L., Borukaev Ch.B., Lomize M.G., 1962. The Main Features of Structural-Facial Zonation and Tectonic History of the Northwestern Caucasus. In: *Geology of Central and Northwestern Caucasus*. Vol. 3. Gostoptekhizdat, Moscow, p. 5–47 (in Russian) [Хайн В.Е., Афанасьев С.Л., Борукаев Ч.Б., Ломизе М.Г. Основные черты структурно-фациальной зональности и тектонической истории Северо-Западного Кавказа // Геология Центрального и Западного Кавказа. М.: Гостоптехиздат, 1962. Т. 3. С. 5–47].

Marinin A.V., 2001. On Tectodynamic Formation Conditions of the Dzhankhot Area of the Novorossiysk Synclinorium (Northwestern Caucasus). In: *Modern Issues of Geotectonics*. Collection of Scientific Papers Conference Dedicated to the 90th Anniversary of Academician A.L. Yanshin. Nauchny Mir, Moscow, p. 122–125 (in Russian) [Маринин А.В. О тектодинамических условиях формирования Джанхотского участка Новороссийского синклинория (Северо-Западный Кавказ) // Современные вопросы геотектоники: Сборник научных трудов конференции, посвященной 90-летию академика А.Л. Яншина. М.: Научный мир, 2001. С. 122–125].

Marinin A.V., 2003. Tectonic Features of the Seversk and Psekup Steps (Northwestern Caucasus). *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Section* 2, 22–24 (in Russian) [Маринин А.В. Особенности тектонического строения Северской и Псекупской ступеней (Северо-Западный Кавказ) // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 2003. № 2. С. 22–24].

Osokina D.N., 2000. The Study of Deformation Mechanisms of the Massif in the Rupture Zone Based on 3D Stress Field (mathematic modeling). In: Yu.G. Leonov (Ed.), M.V. Gzovsky and the Development of Tectonophysics. Nauka, Moscow, p. 220–245 (in Russian) [Осокина Д.Н. Исследование механизмов деформирования массива в зоне разрыва на основе изучения трехмерного поля напряжений (математическое моделирование) // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики / Ред. Ю.Г. Леонов. М.: Наука, 2000. С. 220–245].

Rastsvetaev L.M., 1987. Structural-Paragenetic Analysis of Disjunctive Tectonic Faults. In: A.V. Peive, A.V. Lukyanov (Eds), *Problems of Structural Geology and Physics of Tectonic Processes*. Moscow, p. 173–235 (in Russian) [Растсветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов / Ред. А.В. Пейве, А.В. Лукьянов. М., 1987. С. 173–235].

Rastsvetaev L.M., Marinin A. V., Tveritina T.Yu., 2010. Late-Alpine Fault Systems and Geodynamics of the West Caucasus. *Izvestia, Physics of the Solid Earth* 46, 394–403. <https://doi.org/10.1134/S1069351310050046>.

Rebetsky Yu.L., 2007. Tectonic Stresses and Strength of Mountain Ranges. Nauka, Moscow, 406 p. (in Russian) [Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Наука, 2007. 406 с.].

Rebetsky Yu.L., 2020. The Current State of Crustal Stresses in the Caucasus According to the Unified Catalogue of Earthquake Focal Mechanisms. *Geodynamics & Tectonophysics* 11 (1), 17–29 (in Russian) [Ребецкий Ю.Л. Современное напряженное состояние коры Кавказа по данным объединенного каталога механизмов очагов землетрясений // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11. № 1. С. 17–29]. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-1-0459>.

Rebetsky Yu.L., Sim L.A., Marinin A.V., 2017. From Slickensides to Tectonic Stress. Techniques and Algorithms. GEOS, Moscow, 234 p. (in Russian) [Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. М.: ГЕОС, 2017. 234 с.].

State Geological Map of the Russian Federation, 2002. *Caucasus Series*. Scale 1:200000. Sheet L-37-XXXIV (Tuapse). Explanatory Note. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 151 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Кавказская. Масштаб 1:200000. Лист L-37-XXXIV (Туапсе): Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 2002. 151 с.].

Таблица 1.1. Параметры палеонапряженного состояния в районе Джанхотского надвига (Северо-Западный Кавказ)

Table 1.1. The parameters of the paleostress state near the Dzhankhot thrust (Northwestern Caucasus)

№	Номер точки	Участок	Координаты точек наблюдения		σ_1		σ_2		σ_3		Тип напряженного состояния	$\mu\sigma$	Элементы залегания	a	Количество замеров	
			с.ш.	в.д.	Аз Пд	\angle	Аз Пд	\angle	Аз Пд	\angle					N	N исп.
1	14295 и 14296	Джанхотский надвиг	44°28.302'	38°08.590'	259	6	123	82	350	6	горизонтальный сдвиг	0	342 \angle 20	19.5	28	18
2	14297	Джанхотский надвиг	44° 28.267'	38°08.585'	90	36	212	36	331	34	гор. сжатие в сочет. со сдвигом	0.35	12 \angle 30	27.2	21	18
3	14298	Джанхотский надвиг	44°28.257'	38°08.586'	85	12	193	57	348	31	горизонтальный сдвиг	-0.10	357 \angle 32	7.5	9	9
4	13198	Сев. крыло Хотейской синклинали	44°28.046'	38°08.641'	7	42	243	32	130	31	-	-0.27	207 \angle 66	20.4	14	14
5	13184 М	Сев. крыло Хотец. синкл. (Маринин)	44°27.939'	38°08.735'	36	40	230	49	132	7	гор. сжатие в сочет. со сдвигом	0.03	201 \angle 62	15.8	11	11
6	13184 Т	Сев. крыло Хотец. синкл. (Тверитинова)	44°27.939'	38°08.735'	51	65	229	25	319	0	горизонтальное сжатие	0.77	207 \angle 70	13.9	19	12
7	13185	Сев. крыло Хотейской синклинали	44°27.921'	38°08.744'	13	23	250	51	117	29	горизонтальный сдвиг	-0.02	212 \angle 55	12	20	17
8	13186	Сев. крыло Хотейской синклинали	44°27.877'	38°08.792'	45	42	199	45	303	13	гор. сжатие в сочет. со сдвигом	0.20	212 \angle 68	29.3	11	11
9	13187	Сев. крыло Хотейской синклинали	44°27.862'	38°08.823'	263	65	85	25	355	1	горизонтальное сжатие	-0.36	107 \angle 70	13.3	5	5
10	13194	Сев. крыло Хотейской синклинали	44°27.843'	38°08.854'	33	34	246	51	135	17	горизонтальный сдвиг	-0.05	217 \angle 50	26	12	8
11	13171	Сев. крыло Хотейской синклинали	44°27.798'	38°08.908'	45	42	254	44	149	15	гор. сжатие в сочет. со сдвигом	-0.01	207 \angle 60	25	5	5
12	99559	Сев. крыло Хотейской синклинали	44°27.782'	38°08.981'	57	56	262	32	165	12	горизонтальное сжатие	-0.08	240 \angle 32	8.6	24	15
13	99516	Южное крыло Хотейской синклинали	44°27.620'	38°09.120'	102	60	244	25	342	17	горизонтальное сжатие	-0.07	325 \angle 23	19	9	9
14	14321	Южное крыло Хотейской синклинали	44°27.644'	38°09.128'	107	54	243	28	345	21	горизонтальное сжатие	-0.12	307 \angle 40	19.5	8	8
15	14322	Южное крыло Хотейской синклинали	44°27.530'	38°09.127'	148	50	249	9	347	38	сдвиг в вертикальной плоскости	0.06	302 \angle 50	14.6	10	10
16	13170	Южное крыло Хотейской синклинали	44°27.508'	38°09.134'	160	63	258	4	349	27	горизонтальное сжатие	0.05	327 \angle 38	12.3	11	10
17	13204	Южное крыло Хотейской синклинали	44°27.416'	38°09.265'	83	65	268	25	177	2	горизонтальное сжатие	-0.06	297 \angle 30	16.6	18	16
18	13175	Прасковеевская синклиналь	44°28.193'	38°09.946'	103	6	197	36	5	54	гор. раст. в сочет. со сдвигом	0.42	12 \angle 64	13.9	6	4
19	14309	Прасковеевская синклиналь	44°28.468'	38°10.232'	211	5	119	21	314	68	горизонтальное растяжение	-0.02	17 \angle 45	36.4	4	4
20	14311	Прасковеевская синклиналь	44°28.682'	38° 11.812'	316	60	107	27	203	13	горизонтальное сжатие	0.19	167 \angle 15	25.8	5	5
21	14312	Прасковеевская синклиналь	44° 28.635'	38°11.937'	79	11	303	74	171	11	горизонтальный сдвиг	-0.21	187 \angle 30	28.1	5	5

Таблица 1.1. (продолжение)

Table 1.1. (continued)

№	Номер точки	Участок	Координаты точек наблюдения		σ_1		σ_2		σ_3		Тип напряженного состояния	$\mu\sigma$	Элементы залегания	а	Количество замеров	
			с.ш.	в.д.	Аз Пд	∠	Аз Пд	∠	Аз Пд	∠					N	N исп.
22	13178	Прасковеевская синклиналь	44° 28.192'	38°13.014'	76	28	290	57	175	15	горизонтальный сдвиг	0.18	27∠15	33.7	8	5
23	14314	Парусная синклиналь	44°26.668'	38°12.324'	7	72	259	6	168	17	горизонтальное сжатие	0.04	172∠70	11.8	10	7
24	13179	Парусная синклиналь	44°26.321'	38°11.087'	72	18	314	56	172	29	горизонтальный сдвиг	-0.01	157∠80	14.3	7	5
25	13181	Парусная синклиналь	44°26.282'	38°11.154'	21	65	250	17	155	18	горизонтальное сжатие	0.04	337∠80 опр.	24.9	10	8
26	14315	Парусная синклиналь	44°26.246'	38°11.216'	19	59	275	8	181	29	горизонтальное сжатие	0.07	342∠82 опр.	22.4	16	12
27	13177	Парусная синклиналь	44°26.195'	38°11.292'	134	11	237	48	34	40	горизонтальное раст. в сочетании со сдвигом	0.05	17∠30	42	13	8

Примечание. В столбцах указаны номер точки наблюдения и название участка; координаты точки наблюдения; реконструированные ориентировки осей главных напряжений (σ_1 – минимальных, σ_2 – промежуточных и σ_3 – максимальных сжимающих напряжений); тип напряженного состояния; коэффициент Лодэ – Надаи $\mu\sigma$; угол альфа (между направлением подвижки на плоскости трещины и направлением касательных напряжений, действующих на этой же плоскости), общее и использованное для расчета количество полевых измерений (зеркал скольжения).

Note. The columns contain the numbers of observation points and the names of areas; reconstructed orientations of the principal stress axes (σ_1 – minimum, σ_2 – intermediate and σ_3 – maximum compression stresses); stress-state type; Lode – Nadai coefficient $\mu\sigma$; alpha angle (between the direction of displacement along the fracture plane and the direction of tangential stresses acting on the same plane), a general and a calculation-involved number of in-situ slickenside measurements.