

П.А. КАМЕНЕВ, В.А. ДЕГТЯРЕВ, Ю.В. КОСТРОВ, А.В. МАРИНИН,  
И.В. БОНДАРЬ, Н.А. ГОРДЕЕВ, Р.Р. ХАЛИУЛИН, Э.К. ХМАРИН,  
А.В. ЛЕВИН

## Изучение трещинных коллекторов северного Сахалина в рамках комплексной экспедиции 2020 года

*В рамках комплексной научной экспедиции на п-ов Шмидта по изучению геологических характеристик и механических свойств трещинных коллекторов выполнен уникальный комплекс геолого-геофизических исследований. Были отобраны ориентированные образцы для лабораторного изучения геомеханических параметров и геохимических свойств. Выполнены структурно-геологические исследования. Проведены детальные измерения пространственной ориентировки трещиноватости, жил, отрывов, даек и зеркал скольжения, использована серия тектонофизических методов реконструкции тектонических напряжений.*

*Ключевые слова: трещинные коллекторы, кремнистые отложения, напряжения, геомеханические параметры горных пород, борозды скольжения, трещиноватость.*

**Study of fractured reservoirs in Northern Sakhalin as part of a comprehensive expedition in 2020.**  
P.A. KAMENEV<sup>1</sup>, V.A. DEGTYAREV<sup>1,2</sup>, Yu.V. KOSTROV<sup>2</sup>, A.V. MARININ<sup>3</sup>, I.V. BONDAR<sup>3</sup>, N.A. GORDEEV<sup>3</sup>, R.R. KHALIULIN<sup>2</sup>, E.K. KHMARIN<sup>2</sup>, A.V. LEVIN<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk; <sup>2</sup>LLC RN-SakhalinNIPImorneft, Yuzhno-Sakhalinsk; <sup>3</sup>O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow).

*As part of a comprehensive scientific expedition to the Schmidt Peninsula, aimed at studying the geological characteristics and mechanical properties of fractured reservoirs, a unique set of geological and geophysical studies was conducted. Oriented samples were selected for laboratory study of geomechanical parameters and geochemical properties. Structural geology studies were performed. Detailed measurements of the spatial orientation of joints, veins, tension gashes, dikes and slickensides and a series of different tectonophysical methods for reconstructing tectonic stresses were carried out.*

*Key words: fractured reservoirs, siliceous deposits, stresses, geomechanical parameters of rocks, slickensides, joints.*

---

\*КАМЕНЕВ Павел Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск); ДЕГТЯРЕВ Владислав Анатольевич – аспирант (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск), ведущий специалист отдела подготовки объектов геологоразведочных работ (ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», Южно-Сахалинск); МАРИНИН Антон Витальевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, БОНДАРЬ Иван Владимирович – аспирант, младший научный сотрудник, ГОРДЕЕВ Никита Александрович – аспирант, младший научный сотрудник (Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Москва); КОСТРОВ Юрий Викторович – главный специалист отдела подготовки объектов геологоразведочных работ, ХАЛИУЛИН Руслан Ринатович – заместитель генерального директора по геологии и разработке, ХМАРИН Эдуард Константинович – начальник управления геологоразведочных работ, ЛЕВИН Алексей Владимирович – начальник отдела подготовки объектов геологоразведочных работ (ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», Южно-Сахалинск).

\*E-mail: p.kamenev@imgg.ru

Экспедиция проводилась в рамках инновационной деятельности и при финансовой поддержке ПАО «НК «Роснефть».

## Введение

Усилиями проектного института компании Роснефть ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» совместно с Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта (ИФЗ) РАН и Институтом морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН в 2020 г. была проведена уникальная экспедиция на п-ов Шмидта, о-в Сахалин. Что отличает ее от других, также направленных на изучение геологического строения о-ва Сахалин и проводимых ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» практически ежегодно? Во-первых, в данной экспедиции отчетливо просматривается очевидный уклон в сторону изучения механических свойств горных пород. В этом направлении столь детальное и масштабное изучение трещинных коллекторов северного Сахалина проводится, пожалуй, впервые. Во-вторых, сотрудничество ведомственного института сразу с двумя институтами Российской академии наук выводит данный проект на новый уровень. Объединение потенциала различных ведомств не случайно. Во время иностранных санкций многие зарубежные сервисные компании отказываются от предоставления услуг по исследованию нетрадиционных типов коллекторов, к которым можно отнести терригенные породы пильской свиты. В данной ситуации интеграция научного потенциала производственной и академической науки представляется весьма рациональной и целесообразной. В-третьих, в работе было осуществлено комбинирование геологических, геомеханических и тектонофизических методов в едином направлении исследования.

В задачи исследования входило изучение в естественных обнажениях кайнозойских отложений и отбор образцов для аналитических исследований (геомеханических, геохимических, литологических, и т.п.); изучение малых структурных форм (складки, разрывные нарушения, зеркала скольжения, отрывы, сколовые трещины), являющихся индикаторами тектонических деформаций массива горных пород; реконструкция напряженно-деформированного состояния и построение диаграмм трещиноватости на основе методов структурной геологии и тектонофизики.

В полевых работах было задействовано 11 человек. Полевой лагерь и непосредственно места обнажений изучаемых свит посещали руководители различных структурных подразделений НК «Роснефть» и специалисты ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» (рис. 1). В ходе этих визитов не только обсуждались текущие вопросы реализации запланированных работ, но и налаживалось тесное взаимодействие технических специалистов, занимающихся моделированием, с полевыми геологами.



Рис. 1. Участники экспедиции (слева направо): А.В. Маринин, А.В. Краснокутский, Р.Р. Халиулин, Ю.В. Костров, Э.К. Хмарин, В.А. Сурмин, Н.Е. Ведерников

Необходимо сказать и о такой важной экспедиционной задаче, как работа с аспирантами – будущими кадрами высшей квалификации. В экспедиции участвовали два аспиранта третьего года обучения из ИФЗ РАН И.В. Бондарь и Н.А. Гордеев и один аспирант первого года обучения из ИМГиГ ДВО РАН В.А. Дегтярев. Молодые сотрудники получили прекрасный опыт полевых исследований, который, несомненно, пригодится им в производственной и научной деятельности.

Целью настоящей статьи является обзор выполненных полевых исследований, систематизация проведенных работ и обобщение первичных результатов интерпретации данных.

### **Характеристика района исследований**

Район работ расположен на западном (Пильский разрез) и восточном (Хейтонский разрез) побережьях п-ова Шмидта о-ва Сахалин. Первые сведения о геологическом строении северного Сахалина были получены в 60-х годах XIX в. Ф.Б. Шмидтом и П.П. Гленом. Однако из-за труднодоступности территории некоторые участки острова были крайне плохо изучены, особенно это касалось восточных районов острова и п-ова Шмидта [1]. Основы стратиграфии северного Сахалина и, в частности, п-ова Шмидта в начале прошлого века были заложены геологами Н.Н. Тихоновичем и П.И. Полевым. В 1930–1970-х годах на п-ове Шмидта проводились многочисленные геолого-съёмочные, поисковые, поисково-съёмочные работы с целью уточнения геологического строения, а также оценки перспектив нефтегазоносности.

В 2018 г. ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» была проведена экспедиция по комплексному изучению Пильского и Хейтонского разрезов с привлечением экспертов в различных областях геологии (д.г.-м.н. М.И. Тучкова, д.г.-м.н. О.Л. Морозов, д.г.-м.н. А.Э. Хардинов). Работы экспедиции 2020 г. продолжили и детализировали результаты предыдущих исследований, были изучены и опробованы 7 стратиграфических подразделений, в том числе 1 – мезозойского возраста, 6 – кайнозойского. На Пильском разрезе изучены и опробованы отложения верхнемеловой славянской ( $K_2sl$ ), эоцен-олигоценной мацитарской ( $P_{2-3}m\check{s}$ ), олигоценной тумской ( $P_3tm$ ), миоценовых пильской ( $N_1pl$ ) и каскадной ( $N_1ks$ ), плиоценовой матитукской ( $N_2mt$ ) свит. На Хейтонском разрезе – отложения миоценовых пильской ( $N_1pl$ ), каскадной ( $N_1ks$ ) и венгерийской ( $N_1vn$ ) свит и плиоценовой матитукской ( $N_2mt$ ) свиты (рис. 2).

Исследуемая территория входит в состав Хоккайдо-Сахалинской складчатой системы, что определяет ее сложное тектоническое строение. Здесь выделяется два структурных этажа, разделенных стратиграфическим и структурным несогласиями: нижний – мезозойский и верхний – кайнозойский. Мезозойский структурный этаж, являющийся складчатоблоковым основанием для кайнозойского осадочного чехла, на дневную поверхность выведен в пределах Восточного хребта и фрагментами – на Западном хребте. На основании различий состава отложений, геодинамических обстановок их формирования, проявлений магматизма в мезозойском этаже выделяются эвгеосинклинальный и миогеосинклинальный комплексы. К первому отнесены образования орлинской свиты и пространственно тесно связанные с ними интрузивные породы шмидтовского, томинского, левенштерновского плутонических комплексов. Второй объединяет терригенные отложения тойской, томинской и славянской свит, в него условно включены раннемеловые образования марийского вулканогенного комплекса, представляющие фрагмент палеовулканической дуги. Эвгеосинклинальные образования отделены от миогеосинклинальных Лонгрийским взбрососдвигом и оперяющими его разломами, в том числе надвигами. Кайнозойский структурный этаж подразделяется на два структурных яруса – эоцен-нижнеплиоценовый и верхнеплиоцен-четвертичный.

На основании различий структурного плана, складчатой и разрывной тектоники, мощности отложений кайнозойского осадочного чехла, наличия региональных несогласий в

пределах характеризуемой площади выделяются структурные элементы I порядка: Северо-Сахалинский прогиб, Шмидтовское поднятие и Восточно-Сахалинский прогиб. Границами этих элементов являются Западно-Шмидтовский и Восточно-Шмидтовский разломы [3]. В геологическом строении территории принимают участие осадочно-вулканогенные и осадочные образования юрского, мелового, палеогенового и неогенового возрастов, прорванные интрузивными образованиями [3].

### ***Меловая система***

*Славянская свита* ( $K_2sl$ ) подразделяется на две подсвиты: нижняя ( $K_2sl_1$ ) представлена песчаниками, туфопесчаниками, алевролитами, прослоями известняков и туфогравелитов, верхняя ( $K_2sl_2$ ) – песчаниками, гравелитами, прослоями алевролитов, аргиллитов, углистых аргиллитов и углей. Нами встречена на Хейтонском разрезе и представлена мелко-среднезернистым туфопесчаником. Контактует по разломам с породами пильской свиты.

### ***Палеогеновая система***

*Мачигарская свита* ( $P_{2,3}mc$ ) с угловым и стратиграфическим несогласиями залегают на меловых отложениях славянской свиты. Сложена преимущественно песчаниками и алевролитами, между которыми отмечаются различные переходные разности. Часты прослои и линзы конгломератов, конгломерато-брекчий, гравелитов. Нами встречена в долине р. Водопадная, представлена в нижней части туфопесчаниками мелко-среднезернистыми с рассеянным гравием и галькой, в верхней – крупногалечным конгломератом.

*Тумская свита* ( $P_3tm$ ) сложена алевролитами, аргиллитами, их туфогенными разностями, опоками, песчаниками, туфами кислого состава. Взаимоотношения с подстилающей мачигарской свитой повсеместно согласные, с постепенным переходом. Нами встречена в устье р. Водопадная, представлена переслаиванием алевролитов, туфоалевролитов и тонкозернистых песчаников разной степени окремненности.

### ***Неогеновая система***

*Пильская свита* ( $Npl$ ) сложена аргиллитами, алевролитами, их опоквидными и кремнистыми разностями, с подчинением им песчаников, глин, редко – конгломератов. Для нижней части разреза свиты характерно присутствие глауконитсодержащих пород, пластов желваковых фосфоритов и битуминозных глин, а для всего разреза – большого количества шаровых и лепешкообразных конкреций размером до 2–3 м. Взаимоотношения с тумской свитой согласные.

Пильская свита являлась основным объектом исследований в данной экспедиции, и основной объем отобранных образцов (89,1 %) приходится именно на нее. Породы пильской свиты изучены нами вдоль западного побережья (мыс Горнера – устье р. Пильво) и вдоль восточного (мыс Левенштерна – зал. Киткун-Хейтон).

Значительная часть кремнистых отложений западного побережья представлена глинисто-кремнистыми и кремнисто-глинистыми алевролитами, которые прорывают песчаные дайки малой мощности (0,2–0,5 м). Разрез содержит 5 песчаных горизонтов. Также встречается большое количество шаровых и лепешкообразных конкреций размером до 2–3 м. На восточном побережье кремнистые породы представлены в основном перекристаллизованными опоками, песчаники слагают мощные (до 8 м) песчаные дайки. Конкреции встречаются реже, но имеют большие размеры (до 5 м). В структурно-тектоническом плане наблюдаются значительные различия Пильского и Хейтонского разрезов: для Пильского характерно отсутствие выраженных складчатых деформаций при достаточно сильной тектонизации пород, на Хейтонском широко развита складчатая и разрывная тектоника с разнонаправленными векторами.

*Каскадная свита ( $N_1ks$ )* сложена глинами, аргиллитами, алевролитами, песчаниками глинистыми, прослоями уплощенных и шарообразных конкреций. Взаимоотношение каскадной свиты с подстилающей пильской согласное. Встречена нами на обоих побережьях, на западном породы – глинисто-кремнистые алевролиты, на восточном – кремнистые.

*Венгерийская свита ( $N_1vn$ )* представлена преимущественно аргиллитами, глинами, алевролитами, редко песчаниками и песками. На нижележащей каскадной свите венгерийская залегает согласно с постепенным переходом. Породы свиты встречены нами на восточном побережье и представлены туфопесчаниками.

*Матитукская свита ( $N_2mt$ )* сложена песками, глинами, алевролитами, меньше – песчаниками, гравелитами и конгломератами. Встречена нами на западном побережье между реками Мать и Туки и на восточном в районе зал. Тропто. На западном побережье породы представлены мелко-среднезернистым песчаником с прослоями песчано-глинистых алевролитов, на восточном – песками с линзами глин.

### **Методика и результаты исследований**

Полевые работы 2020 г. на п-ове Шмидта проводились с целью изучения пильской свиты как объекта геолого-разведочных работ (ГРР) и разработки кремнистых трещинных коллекторов, для расширения базы геомеханических, литологических, геохимических и других данных о кремнистых отложениях пильской свиты по латерали и их детализации по разрезу.

Детальное описание литологии проводилось в каждой точке наблюдения (см. рис. 2), а также между точками по ходу маршрута. В точках наблюдения проведены опробование основных литотипов, фотографирование точек отбора образцов и общих видов обнажений.

Отбираемые образцы ориентировались в коренном залегании по элементам залегания, определенным в точке наблюдения. Размеры монолита считались достаточными при возможности выбуривания трех стандартных кернов ( $30 \times 60$  мм) для геомеханических исследований. Образцы из монолитов использовали также для петрографических и геохимических исследований и определения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) кремнистых пород. Образцы для определения ФЕС из песчаников тоже были ориентированными и выбуривались параллельно и перпендикулярно залеганию. Всего в 66 точках наблюдения было взято 238 образцов, из которых в лаборатории отобрано 828 проб на различные виды анализа (рис. 3).

Отдельного внимания заслуживают тектонофизические исследования, выполненные в рамках экспедиции. Сотрудники ИФЗ РАН и ИМГиГ ДВО РАН на Сахалине их уже проводили [7]. Такие работы необходимы для выяснения фундаментальных аспектов, связанных с изучением геодинамики и геотектоники региона, а также сугубо прикладных целей. В современной нефтегазовой практике все чаще применяются геомеханические модели месторождений, в основу которых закладываются данные о напряженном состоянии массива горных пород. В зарубежной практике для этого широко используется проект The World Stress Map [8]. Если посмотреть на карту этого проекта, то территория России предстает практически не изученной по сравнению с Европой и Америкой. Восполнить этот пробел можно с помощью методов тектонофизики [2]. Для геологических и петрофизических моделей необходимо знание характера структурных форм и исходной трещиноватости горных пород. Реконструкция напряженно-деформированного состояния проводилась по данным полевых замеров пространственной ориентировки трещиноватости, жил, отрывов, даек и зеркал скольжения, причем замеры осуществлялись в разновозрастных образованиях, сложенных различными породами. Для обработки результатов полевых измерений была использована программа STRESSgeol, разработанная в лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН [5]. Основу программы составляет метод катакластического

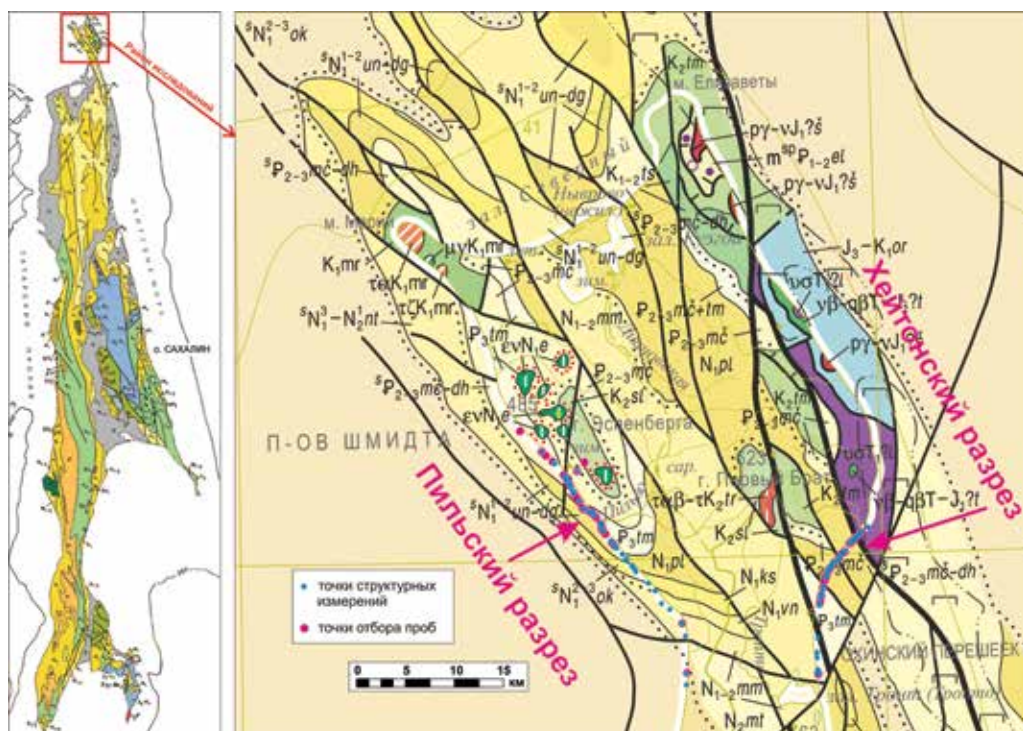


Рис. 2. Фрагмент Государственной геологической карты 1000/3 с точками наблюдений. Большие стрелки указывают на точки отбора проб и структурных измерений на Пильском и Хейгонском разрезах



Рис. 3. Количество отобранных образцов и виды анализов

анализа, который позволяет определить количественные характеристики реконструируемых локальных стресс-состояний: положение осей главных напряжений и коэффициент Лоде–Надаи [6]. Структурно-парагенетический метод был применен для анализа систем тектонической трещиноватости разных кинематических типов с их объединением в устойчивые структурные ассоциации (парагенезы) [4]. Малые разрывные нарушения, зеркала скольжения, отрывы, жилы и другие используемые в данном методе геологические стресс-индикаторы несут информацию о разных этапах деформирования массива горных пород.

В ходе наших работ были детально задокументированы разломы, трещины, жилы, дайки, смещения маркеров, кинематические признаки, зоны катаклаза. Все данные имеют пространственную привязку, полученную с использованием оборудования спутниковой геодезии GPS / ГЛОНАСС. На рис. 4 и в таблице показано соотношение изученных геологических индикаторов деформации. Большая часть замеров представлена тектоническими трещинами (системами трещин) без видимого смещения и определения кинематического типа. Часть измерений представлена зеркалами скольжения с определенным кинематическим типом относительного смещения бортов нарушения.

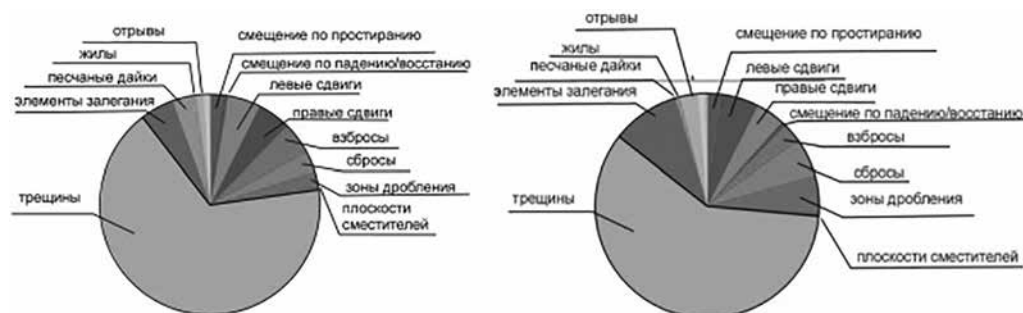


Рис. 4. Структура замеров по Пильскому (слева) и Хейтонскому (справа) разрезам

Среди изученных зеркал скольжения видно преобладание латеральных сдвиговых нарушений (смещение по простиранию, правые и левые сдвиги). На западном побережье выявлены системы левосдвиговых зеркал скольжения СВ простирания, которые хорошо согласуются с простиранием и левосдвиговыми перемещениями по разлому вдоль р. Водопадная. На восточном побережье становится больше различных зон дробления, что связано с более интенсивной тектонической нарушенностью – наличием зон складчатых и разрывных дислокаций. Здесь также можно отметить большее, чем на западном побережье, количество отрывных трещин (в том числе отрывов с минеральным выполнением). Главными разрывными структурами этого района исследования являются Хейтонский и Лонгрийский разломы, которые по данным различных авторов имеют правосдвиговую кинематику на современном этапе. Данные разломы расположены на северном окончании (продолжении) Хоккайдо-Сахалинской системы разломов в целом меридионального простирания. Для собственно Хейтонского и Лонгрийского нарушений характерно ССЗ направление простирания. Активность их подтверждается выраженностью в рельефе и палеосейсмологических данными. Наши полевые исследования малых структурных форм показывают наличие правосдвиговых и сбросовых смещений, как и у большинства региональных разломов, ССЗ простирания. Однако, кроме этого, выделяется большая группа правосдвиговых смещений субширотного простирания, которые развиты в этой широкой сдвиговой зоне. Левосдвиговые перемещения по системам зеркал скольжения ВСВ простирания фиксируются практически на всем протяжении Хейтонского разреза. Вероятно, это зона концентрации левосдвиговых перемещений, которая не оформлена в единую разломную зону. Можно сопоставить простирание данных левосдвиговых зеркал скольжения

**Количество выполненных в экспедиции РН-СахалинНИПИморнефть 2020 г. замеров тектонической трещиноватости и малых структурных форм на п-ове Шмидта (о-в Сахалин)**

Структуры	Пильский разрез	Хейтонский разрез
Сдвиги (без определения направления)	39	45
Взбросы и сбросы (без определения)	8	11
Левые сдвиги	90	99
Правые сдвиги	92	82
Взбросы и надвиги	89	56
Сбросы	55	106
Зоны дробления	42	103
Разрывы (сместитель)	9	11
Трещины	1226	1134
Элементы залегания	92	191
Песчаные дайки	61	12
Жилы	6	2
Отрывы	11	16
Перья отрыва	8	33
Экспозиция склона	13	20
Сколы	4	–
Шарниры складок	–	5
<b>Итого</b>	<b>1845</b>	<b>1926</b>

Примечание. Прочерки – не обнаружено.

с ВСВ направлением зоны Северо-Байкальского нарушения, ограничивающей с юга Лонгрийский и Хейтонский разломы.

Для Пильского и Хейтонского разрезов на суммарных диаграммах трещиноватости хорошо обозначился максимум системы с ВСВ простираем и крутым (вертикальным) падением. Другие максимумы связаны с СЗ простираем двух систем с СВ и ЮЗ падениями (встречными) с углами падения около 70°.

В ходе исследований была проанализирована связь этих систем трещиноватости с ориентацией осей главных напряжений, полученных при реконструкции напряженно-деформированного состояния по данным о зеркалах скольжения. Изучаемый регион характеризуется напряженным состоянием с близширотной ориентацией осей наибольшего горизонтального сжатия. При этом для западного побережья реконструированные оси максимального сжатия часто имеют вариации до СЗ и даже ССЗ направления, а для восточного побережья, помимо определений с субширотным направлением наибольшего горизонтального сжатия, много определений и с СВ направлением.

Латеральная выдержанность или неустойчивость систем трещиноватости позволяет подтвердить или поставить под сомнение их тектонический характер и предположить их распространение по латерали и по глубине. Было проверено соотношение выявленных систем с элементами рельефа (склоны, речные долины и т.д.), в том числе для установления влияния поверхностных экзогенных факторов на формирование трещиноватости.

### **Заключение**

В настоящей работе сообщается о первичных результатах тектонофизических исследований, проведенных в 2020 г. экспедицией РН-СахалинНИПИморнефть на п-ове Шмидта (о-в Сахалин). В частности, продолжается работа по обоснованию этапов деформации осадочной толщи. Сейчас можно сказать, что по анализу изменения расположения индикаторов тектонических напряжений в ряде точек мы видим вариацию типа напряженного состояния и/или направления действующих напряжений. Но определенных доказательств в пользу изменения напряженного состояния по данным изучения



соотношений именно по зеркалам скольжения (их соотношению) получить не удалось. За рассматриваемый относительно небольшой временной интервал формирования тектонической структуры Сахалина, скорее, проявлена латеральная неоднородность напряженно-деформированного состояния.

Экспедицией получен большой объем геолого-геофизической информации, позволяющий по-новому оценить потенциал трещинных кремнистых коллекторов северного Сахалина. Проведен большой объем ГРП не только по геологии, но и по тектонофизике и геомеханике. Такой масштаб работ с уклоном в исследование механических свойств горных пород делает эту экспедицию уникальной, по крайней мере в региональном масштабе. В ходе реализации проекта нарабатывается опыт по изучению нетрадиционных типов коллекторов, что весьма важно в условиях зарубежных санкций. Полученные в результате экспедиции данные могут существенно повлиять на стратегию развития нефтегазовых проектов Сахалина.

Выражаем огромную благодарность сотрудникам центрального аппарата управления компании ПАО «НК «Роснефть» А.В. Мирошниченко, А.А. Пашали, К.В. Торопову, И.А. Серее, без участия которых данная работа была бы невозможна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бровка П.Ф., Горбунов А.О. «Геоморфологический очерк русского Сахалина»: к 100-летию издания // Вестн. ДВО РАН. 2015. № 2. С. 146–153.
2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
3. Коноваленко А.А., Науменко Б.А., Речкин А.Р., Васюк И.Б., Костров Ю.В. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 200 000. Объяснительная записка. СПб., 2009. 64 с.
4. Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: ГИН АН СССР, 1987. С. 173–235.
5. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям: Методы и алгоритмы. М: Изд-во ГЕОС, 2017. 234 с.
6. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: Академкнига, 2007. 406 с.
7. Сим Л.А., Богомолов Л.М., Брянцева Г.В., Саввичев П.А. Неотектоника и тектонические напряжения о. Сахалин // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8, № 1. С. 181–202. – <https://doi.org/10.5880/GT-2017-8-1-0237>.
8. Heidbach O., Rajabi M., Cui X., Fuchs K., Müller B., Reinecker J., Reiter K., Tingay M., Wenzel F., Xie F., Ziegler M.O., Zoback M.-L., Zoback M. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales // Tectonophysics. 2018. Vol. 744. P. 484–498. DOI: 10.5880/WSM.2016.001.