

V ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ» г. Южно-Сахалинск, Сахалинская область 27-31 мая 2024 г.



Приглашаем ученых и специалистов, аспирантов и студентов принять участие в конференции «Геодинамические процессы и природные катастрофы», которая состоится 27–31 мая 2024 года в г. Южно-Сахалинск. В 2024 году отмечается 300 лет Российской академии наук, и мы надеемся, что эта конференция гармонично вольется в череду важнейших научных событий в России. Надеемся, что на полях нашего научного форума сможем достойно отметить это событие не только с нашими старыми друзьями, но и с теми учеными, которые еще не посещали остров Сахалин. На конференции планируется обсуждение актуальных научных проблем, которые волнуют ученых не только Дальневосточного региона России. Среди них природные катастрофы, методы оценки их опасности и риска, а также современные технологии геофизического мониторинга в сейсмоактивных и цунамиопасных регионах.

СЕКЦИИ И ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

Исследования Земли против угроз природно-техногенных катастроф на территории Дальнего Востока и Восточной Сибири

- Геологическое строение земной коры и ее отдельных структурных единиц разного масштаба
- Основные этапы и стадии развития земной коры и верхней мантии Азиатско-Тихоокеанского региона
- Вещественный состав (литологический, минеральный, химический, элементный, изотопный) различных геологических сред и объектов
- Поиск и прогнозирование месторождений полезных ископаемых

Круглый стол Геофизический мониторинг и развитие методов прогноза землетрясений

Обсуждение вопросов прогноза землетрясений, наблюдательной сейсмологии, оценки сейсмической опасности, современных движений земной коры, геофизического мониторинга

Динамика моря, вопросы изменения климата

- Потоки вещества и энергии в гидросфере
- Генерации цунами, цунамиопасность
- Моделирование и прогнозы морских опасных явлений в океанах и морях
- Геолого-геоморфологическим аспектам стратегии освоения ресурсов морских побережий Дальнего Востока и восточного сектора Арктики

Живые системы и геологическая среда

- Влияние на живые организмы и экосистемы природного (вулканическая и поствулканическая активность, засуха, засоление, погодные и климатические аномалии и др.) и антропогенного стресса (нерациональное хозяйствование, рекреационная нагрузка)
- Анализ адаптивных стратегий живых организмов под давлением факторов окружающей среды
- Изучение биологического разнообразия и проблемы инвазий как маркеров благополучия окружающей среды, анализ состояния экосистем по данным аэрокосмических исследований Земли

В программе конференции планируются однодневные экскурсии, которые позволят познакомиться с историей и природой острова Сахалин. Более подробную информацию разместим во втором циркуляре.

К началу работы конференции будут изданы тезисы докладов. Объем тезисов не должен превышать одну страницу машинописного текста. Избранные доклады по решению организационного комитета конференции будут рекомендованы для публикации в журнале ИМГиГ ДВО РАН «**Геосистемы переходных зон**» (<http://journal.imgg.ru>), индексируемом РИНЦ и входящем в Перечень ВАК.

РЕГИСТРАЦИЯ УЧАСТНИКОВ





ЗАЯВКА оформляется онлайн на сайте конференции <http://geopronh.ru> или посредством отправки регистрационной формы по адресу geopronh2024@imgg.ru до **1 марта 2024 г.** Файл регистрационной формы прилагается к первому циркуляру конференции, а также размещен на ее официальной странице в сети интернет <http://geopronh.ru>. Образец оформления тезисов доклада приложен к информационному сообщению.

Оргвзнос 5000 руб. оплачивается при регистрации. Для аспирантов и молодых ученых в возрасте до 35 лет **3000 руб.** За счет оргвзноса обеспечивается оргнабор участника конференции и организация кофе-брейков. Информация о гостиницах г. Южно-Сахалинска будет дана во втором циркуляре. Программа конференции будет разослана участникам вместе с третьим циркуляром, а также размещена на сайте конференции.

АДРЕС ОРГКОМИТЕТА:

Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1 Б
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
Телефон/факс: 8 (4242) 79-15-17

Web-страница конференции:
<http://geopronh.ru>
E-mail: geopronh2024@imgg.ru

ОРГАНИЗАТОР	СО-ОРГАНИЗАТОРЫ		
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН	Питомник растений «Магнолия Парк»	Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы РАН	Сахалинский государственный университет
			

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ:

- до 1 ФЕВРАЛЯ 2024 г. – Второй циркуляр.
- до 1 МАРТА 2024 г. – Заявка на участие в конференции.
- до 1 АПРЕЛЯ 2024 г. – Представление тезисов докладов.
- до 15 АПРЕЛЯ 2024 г. – Третий циркуляр.

Научный журнал

Учредитель и издатель:

ФГБУН Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения
Российской академии наук

Издаётся с января 2017 г.

Периодичность издания 4 раза в год

Scientific journal

Founder and Publisher:

Institute of Marine Geology and Geophysics
of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences

Published since January 2017

Periodicity: Quarterly

Основная задача журнала – информирование научной общественности, российской и зарубежной, о результатах изучения геосистем переходных зон Земли и связанных с ними проблем геофизики, геологии, геодинамики, сейсмологии, геоэкологии и других наук.

The main objective of the journal is informing of scientific community, Russian and foreign, about the results of researches in geosystems of the Earth's transition zones and related problems of geophysics, geology, geodynamics, seismology, geoecology and other sciences.

Журнал:

- индексируется в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)**;
- регистрируется в системе **CrossRef**. Научным публикациям присваивается идентификатор – DOI;
- включен в каталог **Ulrich's Periodicals Directory**;
- включен в международную базу научных журналов открытого доступа – **Directory of Open Access Journals (DOAJ)**;
- входит в **Перечень ВАК** – Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика (*геолого-минералогические*)

1.6.3. Петрология, вулканология (*геолого-минералогические*)

1.6.9. Геофизика (*геолого-минералогические; физико-математические*)

1.6.14. Геоморфология и палеогеография (*географические*)

1.6.17. Океанология (*географические; геолого-минералогические; физико-математические*)

1.6.20. Геоинформатика, картография (*физико-математические*)

1.6.21. Геоэкология (*географические; геолого-минералогические*)

1.5.15. Экология (*биологические*)

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела (*технические; физико-математические*)

- отнесен в Перечне ВАК к журналам II категории (K2).

The Journal is:

- indexed in **Russian Science Citation Index (RISC)**;
- registered in the **CrossRef** system. Scientific publications are assigned an individual identifier DOI;
- included in the **Ulrich's Periodicals Directory** database;
- included in the **Directory of Open Access Journals (DOAJ)**;
- included in the **VAK List** – the List of peer reviewed scientific journals, in which main scientific results of dissertations for the Candidate of Sciences and Doctor of Sciences degrees in the following scientific specialties and corresponding branches of science should be published:

1.6.1. General and regional geology. Geotectonics and geodynamics (*Geology and Mineralogy*)

1.6.3. Petrology and volcanology (*Geology and Mineralogy*)

1.6.9. Geophysics (*Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics*)

1.6.14. Geomorphology and Paleogeography (*Geography*)

1.6.17. Oceanology (*Geography; Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics*)

1.6.20. Geoinformatics and cartography (*Physics and Mathematics*)

1.6.21. Geoecology (*Geography; Geology and Mineralogy*)

1.5.15. Ecology (*Biology*)

1.1.8. Mechanics of deformable solids (*Physics and Mathematics; Engineering*)

- it is assigned to the K2 category in the VAK list.

Адрес учредителя и издателя

ИМГиГ ДВО РАН
ул. Науки, 16, Южно-Сахалинск, 693022
Тел./факс: (4242) 791517
E-mail: gtrz-journal@mail.ru
Сайт: <http://journal.imgg.ru>

Postal address

IMGG FEB RAS
1B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022
Tel. / Fax: (4242) 791517
E-mail: gtrz-journal@mail.ru
Website: <http://journal.imgg.ru>

© ИМГиГ ДВО РАН, 2023

Редакционная коллегия*Главный редактор*

Завьялов Петр Олегович, член-корреспондент РАН, д-р геогр. наук, заместитель директора, руководитель лаборатории взаимодействия океана с водами суши и антропогенных процессов, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Заместитель главного редактора

Богомолов Леонид Михайлович, д-р физ.-мат. наук, директор, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

Ответственный секретарь

Прытков Александр Сергеевич, канд. физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

- **Адушкин Виталий Васильевич**, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, Институт динамики геосфер РАН; Московский физико-технический институт, Москва
- **Алексанин Анатолий Иванович**, д-р техн. наук, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток
- **Быков Виктор Геннадьевич**, д-р физ.-мат. наук, Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск
- **Закупин Александр Сергеевич**, канд. физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск – *зам. главного редактора*
- **Ковалев Дмитрий Петрович**, д-р физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск
- **Кочарян Геворг Грантович**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт динамики геосфер РАН, Москва
- **Куркин Андрей Александрович**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород
- **Лабай Вячеслав Степанович**, д-р биол. наук, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск
- **Левин Владимир Алексеевич**, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток; Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
- **Лучин Владимир Александрович**, д-р геогр. наук, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Марапупец Юрий Валентинович**, д-р физ.-мат. наук, доцент, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Камчатский край, Паратунка
- **Огородов Станислав Анатольевич**, профессор РАН, д-р геогр. наук, чл.-корр. РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
- **Плехов Олег Анатольевич**, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь
- **Разжигаяева Надежда Глебовна**, д-р геогр. наук, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток
- **Ребetsкий Юрий Леонидович**, д-р физ.-мат. наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва
- **Родкин Михаил Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва
- **Рыбин Анатолий Кузьмич**, д-р физ.-мат. наук, Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Киргизия
- **Сасорова Елена Васильевна**, д-р физ.-мат. наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Editorial Board*Editor-in-Chief*

Peter O. Zav'yalov, Corr. Member of the RAS, Dr. Sci. (Geography), Deputy Director, Head of the Laboratory of land-ocean interactions and the anthropogenic impact, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russia

Deputy Editor-in-Chief

Leonid M. Bogomolov, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Director, Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Executive Secretary

Alexander S. Prytkov, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

- **Vitaly V. Adushkin**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Geosphere Dynamics of RAS; Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow
- **Anatoly I. Alexanin**, Dr. Sci. (Eng.), The Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok
- **Victor G. Bykov**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics of the FEB RAS, Khabarovsk
- **Alexander S. Zakupin**, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk – *Deputy Editor-in-Chief*
- **Dmitry P. Kovalev**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Gevorg G. Kocharyan**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Geosphere Dynamics of RAS, Moscow
- **Andrei A. Kurkin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod
- **Vyacheslav S. Labay**, Dr. Sci. (Biology), Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Vladimir A. Levin**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok; Lomonosov Moscow State University, Moscow
- **Vladimir A. Luchin**, Dr. Sci. (Geogr.), V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Yuri V. Marapulets**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the FEB RAS, Kamchatka Region
- **Stanislav A. Ogorodov**, Professor of RAS, Dr. Sci. (Geogr.), Corr. Member of RAES, Lomonosov Moscow State University, Moscow
- **Oleg A. Plekhov**, Corr. Member of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of RAS, Perm'
- **Nadezhda G. Razjigaeva**, Dr. Sci. (Geogr.), Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok
- **Yuri L. Rebetskiy**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow
- **Mikhail V. Rodkin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics of RAS, Moscow
- **Anatoly K. Rybin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Research Station of RAS in Bishkek City, Bishkek, Kyrgyzstan
- **Elena V. Sasorova**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow

Редакционная коллегия

- **Сергеева Ирина Вячеславовна**, д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Саратов
- **Такахаши Хироаки**, профессор, Институт сейсмологии и вулканологии Университета Хоккайдо, Саппоро, Япония
- **Троицкая Юлия Игоревна**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Нижегородский гос. университет им Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
- **Христофорова Надежда Константиновна**, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАЕН, Заслуженный деятель науки РФ, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток
- **Шакиров Ренат Белалович**, д-р геол.-минер. наук, доцент, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Шевченко Георгий Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск
- **Шеменда Александр Ильич**, профессор исключительного класса, Университет Ниццы София-Антиполис, Ницца, Франция
- **Ярмолюк Владимир Викторович**, академик РАН, д-р геол.-минер. наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

Editorial Board

- **Irina V. Sergeeva**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov
- **Hiroaki Takahashi**, Professor, Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Sapporo, Japan
- **Yuliya I. Troitskaya**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod; Lobachevsky University, Nizhny Novgorod
- **Nadezhda K. Khristoforova**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Corr. Member of RAES, Far Eastern Federal University, Vladivostok
- **Renat B. Shakirov**, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Associate Professor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Georgiy V. Shevchenko**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Alexandre I. Chemenda (Shemenda)**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professeur des Universités de Classe Exceptionnelle, Université de Nice Sophia Antipolis, Nice, France
- **Vladimir V. Yarmolyuk**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS, Moscow

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. (Регистрационный номер ПИ № ФС 77-73243 от 13.07.2018 г.). Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

Переводчики **Качесова Галина Сергеевна**
Новикова Татьяна Юрьевна

Редактор к.ф.н. **Низяева Галина Филипповна**
Компьютерная верстка **Филимонкина Анна Александровна**
Дизайн **Леоненкова Александра Викторовна**

Адрес редакции журнала и типографии:
693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б.
gtrz-journal@mail.ru

Формат 60 × 84 /8. Усл. печ. л. 14.8.
Тираж 150 экз. Заказ 8028. Свободная цена.
Дата выхода в свет 21.12.2023.

Подписной индекс в Объединенном интернет-каталоге «Пресса России» (www.pressa-rr.ru) – 80882.

По вопросам распространения обращаться также в редакцию.

Translators **Galina S. Kachesova**
Tatiana Yu. Novikova

Editor **Galina Ph. Nizyaeva**, Cand. Sci. (Phylogeny)
Desktop publishing **Anna A. Filimonkina**
Design **Alexandra V. Leonenkova**

Postal address of the Editorial Office and printing house:
1B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022.
gtrz-journal@mail.ru

Sheet size 60 × 84 /8. Conv. print. sheets 14.8.
Number of copies 150. Order no. 8028. Free price.
Date of publishing 21.12.2023.

Subscription index in the United web-catalogue "Press of Russia" (www.pressa-rr.ru) – 80882.

Please also contact the Editorial Office for distribution.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENT

Геофизика. Сейсмология

Н.А. Сычева. Исследование сеймотектонических деформаций земной коры Алтае-Саянской горной области. Часть II . . . 335

Океанология. Геоморфология и палеогеография

Н.Г. Разжигаева, Л.А. Ганзей, Т.А. Гребенникова, А.А. Харламов, А.В. Лоскутов, Р.Ф. Булгаков. Геологические свидетельства проявлений сильных цунами на побережье острова Итуруп (Курильские острова) за последние 3500 лет 357

Геоморфология и палеогеография

Н.Г. Разжигаева, Л.А. Ганзей, Т.А. Гребенникова, Л.М. Мохова, Х.А. Арсланов. Озерные палеоархивы изменений природной среды полуострова Песчаный, Японское море (южное Приморье) 375

Механика деформируемого твердого тела.

Геомеханика

И.А. Пантелеев, В.И. Окунев, В.А. Новиков. Синхронизация мультифрактальных свойств непрерывной акустической эмиссии при подготовке и реализации подвижки по модельному разлому 405

Региональная геология. Геомеханика

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

П.А. Каменев, А.Р. Лукманов. О некоторых закономерностях развития трещиноватости в терригенных породах острова Сахалин 419

Вулканология, петрология

МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.В. Дегтерев, М.В. Чибисова. Вулканическая активность на Курильских островах в 2022 г. 427

Хроника научной жизни

Научное сотрудничество Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ) и ТОИ ДВО РАН. *Р.Б. Шакиров, Н.С. Сырбу, М.Г. Валитов, Г.Н. Шкабарня, А.Л. Веникова, Н.Л. Соколова, Е.В. Мальцева.* 439

Сахалинская группа реагирования на вулканические извержения (SVERT): 20 лет мониторинга вулканической активности на Курильских островах. *М.В. Чибисова, А.В. Дегтерев, А.В. Рыбин, Ф.А. Романюк.* 448

Тематический и авторский указатели статей, опубликованных в журнале «Геосистемы переходных зон» в 2023 г. (том 7) 454

Geophysics. Seismology

N.A. Sycheva. Study of seismotectonic deformations of the Earth's crust in the Altai-Sayan Mountain region. Part II 335

Oceanology. Geomorphology and Paleogeography

N.G. Razjigaeva, L.A. Ganzey, T.A. Grebennikova, A.A. Kharlamov, A.V. Loskutov, R.F. Bulgakov. Geological evidence of strong tsunami manifestations on the Iturup Island (Kuril Islands) at last 3500 years. 357

Geomorphology and Paleogeography

N.G. Razjigaeva, L.A. Ganzey, T.A. Grebennikova, L.M. Mokhova, Kh.A. Arslanov. Lacustrine paleoarchives of environmental changes of Peschany Peninsula, Sea of Japan (South Primorye) 375

Mechanics of deformable solids.

Geomechanics

I.A. Panteleev, V.I. Okunev, V.A. Novikov. Synchronization of multifractal properties of continuous acoustic emission during the preparation and implementation of dynamic slip in model fault 405

Regional geology. Geomechanics

SHORT REPORT

P.A. Kamenev, A.R. Lukmanov. Patterns of fracturing placement in terrigenous rocks of Sakhalin Island 419

Volcanology, petrology

MONITORING OF GEOLOGICAL HAZARDS

A.V. Degterev, M.V. Chibisova. Volcanic activity on the Kuril Islands in 2022 427

Current scientific events

Scientific cooperation between the Vietnam Academy of Science and Technology (VAST) and POI FEB RAS. *R.B. Shakirov, N.S. Syrbu, M.G. Valitov, G.N. Shkabarnya, A.L. Venikova, N.L. Sokolova, E.V. Malteva.* 439

Sakhalin Volcanic Eruption Response Team (SVERT): 20 years of monitoring of volcanic activity on the Kuril Islands. *M.V. Chibisova, A.V. Degterev, A.V. Rybin, F.A. Romanyuk.* 448

Topical index of articles published in the journal “Geosystems of Transition Zones” in 2023 (volume 7) 455

© Авторы 2023 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2023. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 551.3.051+622.831.3

<https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.4.419-426>
<https://www.elibrary.ru/lhqxwe>

О некоторых закономерностях развития трещиноватости в терригенных породах острова Сахалин

П. А. Каменев¹, А. Р. Лукманов²

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

¹ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

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

Резюме. В рамках комплексных исследований свойств нефтегазоматеринских пород Сахалина получены первые предварительные результаты о зависимости распределения трещиноватости от мощности пласта. Выполнены массовые замеры элементов залегания слоистости, мощностей пластов, определены ориентации систем ортогональной трещиноватости для холмской свиты. Выведенные зависимости описываются линейной аппроксимацией, которые соответствуют общемировым данным, полученным для аналогичного класса пород и мощностей пластов.

Ключевые слова: трещиноватость, терригенные породы, тектонические напряжения, нефтегазоматеринские свиты Сахалина, кремнистые коллекторы, нетрадиционные коллекторы

Patterns of fracturing placement in terrigenous rocks of Sakhalin Island

Pavel A. Kamenev¹, Anton R. Lukmanov²

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

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

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

Abstract. Within complex studies of properties of hydrocarbons source rocks in Sakhalin Island the first preliminary results on the correlations of relations between the fractures distribution and bed thickness were obtained. Numerous measurements of stratification bedding planes, thicknesses of beds and orientations of orthogonal fracturing systems for the Kholmsk formation were performed. The received relations are described by linear approximation and correspond to the global data obtained for similar types of rocks and bed thicknesses.

Keywords: fracturing, terrigenous sedimentary rocks, tectonic stresses, Sakhalin Island source rocks, siliceous reservoirs, unconventional reservoirs

Для цитирования: Каменев П.А., Лукманов А.Р. О некоторых закономерностях развития трещиноватости в терригенных породах острова Сахалин. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 4, с. 419–426. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.4.419-426>; <https://www.elibrary.ru/lhqxwe>

For citation: Kamenev P.A., Lukmanov A.R. Patterns of fracturing placement in terrigenous rocks of Sakhalin Island. *Geosistemy perexodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 4, pp. 419–426. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.4.419-426>; <https://www.elibrary.ru/lhqxwe>

Финансирование и благодарности

Авторы признательны А.И. Шеменде, профессору Университета Ниццы – София Антиполис, за ценные предложения и дискуссии, благодаря которым было инициировано проведение настоящих исследований на Сахалине.

Funding and Acknowledgements

The Authors are grateful to Alexandre I. Chemenda, Professor at the University of Nice – Sophia Antipolis for constructive suggestions and comments which initiated our research in the Sakhalin.

Введение

Несомненно, в мире уже произошла так называемая «сланцевая революция», эффект от нее получился, возможно, не такой, как первоначально ожидалось. Тем не менее, как минимум благодаря этим событиям произошла перестройка европейского (и других) рынков углеводородного сырья. В России, с ее огромными запасами традиционных коллекторов, к инициативе разработки нетрадиционных залежей отнеслись довольно скептически. Несмотря на это, на востоке и западе страны были начаты разработки и исследования, направленные на поиски и освоение таких месторождений. Наиболее известные и крупные проекты – это изучение доманиковых отложений на западе РФ в Волго-Уральской провинции, баженовской свиты Западно-Сибирского осадочного бассейна и куонамской свиты Восточной Сибири. Если в Сибири такие работы были продиктованы необходимостью освоения новых месторождений в динамично развивающемся регионе, то в западной части они связаны с истощением традиционных резервуаров и попыткой вдохнуть новую жизнь в хорошо развитую нефтегазовую инфраструктуру региона.

Аналогичные мотивы дали старт исследовательским работам на севере Сахалина [1]. Сахалинские нефтегазовые промыслы являются старейшими в стране. Их разработка была начата еще в Российской империи. Разумеется, сухопутные месторождения в значительной степени истощены, и возникает вопрос о восполнении ресурсной базы. Таким источником могут стать нефтегазоматеринские свиты. Но их разработка в значительной степени зависит от геомеханических характеристик углеводородной системы. Это, прежде всего, ориентация главных напряжений, механические свойства горных пород и степень их трещиноватости.

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН) совместно с Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), другими профильными институтами и высшими учебными заведениями начали комплексные исследования геомеханических характеристик нефтегазоматеринских пород Сахалина. Были изучены [2] и продолжают изучаться ориентация главных напряжений и

механические свойства горных пород [3]. В то же время работы, посвященные исследованиям трещиноватости этих пород, практически отсутствуют. Во времена СССР подобные работы проводились, но носили несколько иные цели. Они были предназначены для изучения трещиноватости угленосных месторождений и связанных с этим проблем их освоения [4, 5].

Цель настоящей работы – показать первые результаты статистических закономерностей развития трещиноватости в терригенных породах Сахалина.

Исследованию нетрадиционных коллекторов Сахалина посвящено достаточно много работ [6, 7, 8 и др.], но в большинстве из них исследуется нефтегазоматеринский потенциал. При этом геомеханическая составляющая исследований, которая в конечном итоге и будет определять потенциальную добычу углеводородов, как правило, опускается. В то же время за рубежом активно исследуются как лабораторные свойства горных пород [9], тектонические напряжения [10], так и трещиноватость. Предпринято достаточно много попыток обобщения и поиска статистических закономерностей распределения трещиноватости как ранее [11], так и в недавнее время [12, 13]. Одни из современных обобщений зависимости трещиноватости от мощности пластов осадочных пород представлены в работах [14, 15]. При этом вопрос о характере зависимости (линейном или нелинейном) остается открытым [15]. К одним из относительно недавних геологических работ, проведенных на Сахалине, относятся [16, 17]. Актуальность таких исследований связана не только с потенциальной добычей углеводородов, но и с вопросами стабильности горных массивов при их разработке и устойчивости склонов. Работы перечисленных авторов были проведены за рубежом, а также на Сахалине на достаточно обширной территории и с другими смежными целями. Поэтому нами было принято решение о проведении аналогичных [15] работ в южной части о. Сахалин.

Объект и методика исследования

В качестве объекта исследования был выбран клиф северного побережья зал. Анива в окрестности г. Корсаков в точке с координатами 46°35.476' N, 142°48.758' E (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Район исследования.

Fig. 1. The research area.

URL: https://yandex.ru/maps/geo/korsakov/53067840/?l=sat%2Cskl&ll=142.799204%2C46.615234&source=serp_navig&z=14



Рис. 2. Объект исследования.

Fig. 2. The object of the study.

Неогеновые отложения в прогибе зал. Анива представлены холмской N_1hl и невельской N_1nv свитами нижнемиоценового возраста, курасийской N_1kr_2 свитой средневерхнемиоценового возраста и маруямской $N_{1-2}mr$ верхнемиоценового–плиоценового возраста [18]. В точке исследования породы представлены преимущественно кремнистыми алевролитами с прослоями песчаников, туфо-песчаников, реже туфогравелитами холмской свиты (рис. 3).

Алевролиты кремнистые, от светло-серых до темно-серых с ожелезнением на поверхности, с обильными включениями песчаников и туфов, иногда с прожилками кальцита (рис. 3, 9). Песчаники мелко-среднезернистые, темно-серые до коричневых, в большинстве случаев вулканомиктовые с переотложенным пирокластическим материалом (рис. 3, 10). Туфогравелиты от светло-серых до коричневых (рис. 3, 1). Отложения холмской свиты залегают согласно на отложениях аракайской свиты P_3ar , граница между ними проводится весьма условно при смене грубообломочных пород на мелкозернистые [18].

В структурном плане меловые и олигоцен-миоценовые образования в районе исследова-

ния смяты в систему складок СВ простирания с пологим (10°) погружением осей в ЮЗ направлении и косо ориентированных к ним складок СВ простирания. Это указывает на формирование данных структур в результате сжатия СЗ направления и преимущественно левосторонние перемещения вдоль Мерейской разломной зоны. На поверхностях разрывов установлены также правосторонние и сбросовые перемещения, следы которых менее интенсивны и на современной структуре практически не отразились. Левосдвиговые и складчатые дислокации наложены на олигоцен-миоценовые и меловые образования [16].

Холмская свита, как правило, не рассматривается большинством исследователей в качестве одной из основных нефтегазоматеринских пород Сахалина. Тем не менее, по данным [18], содержание органического углерода $C_{орг}$ холмской свиты от 0.3 до 0.7 %, что отвечает одному из критериев нефтегазоматеринского потенциала. Аналогичные лабораторные результаты были получены и в работе [17]. Кроме того, породы свиты характеризуются достаточно хорошими люминесцентно-битумологическими свойствами. Дополнительным фактором, позволяющим отнести эту свиту к нефтегазоматеринским, является тот факт, что на действующих Анивских газовых месторождениях она залегает под маруямской свитой, из которой непосредственно производится добыча [18]. Весьма вероятно, что холмская свита внесла и вносит определенный вклад в генерацию углеводородов и, как следствие, в уровень добычи на месторождении.

Учитывая обширную территорию распространения холмской свиты, от п-ова Крильон до Тымовского района, в том числе и на территориях интенсивного строительства ин-

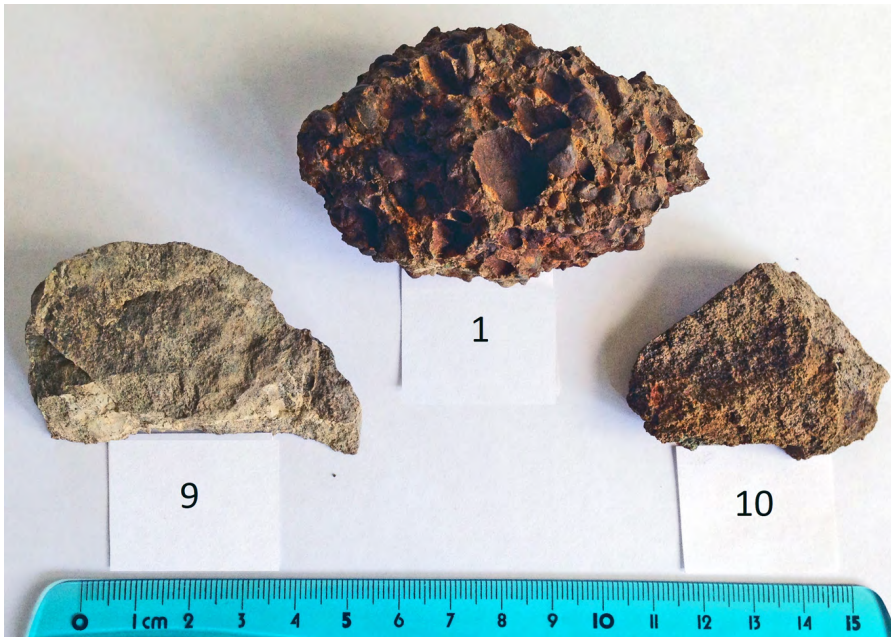


Рис. 3. Терригенные породы холмской свиты в точке проведения исследований. Цифры – номера пластов. Описание пород в тексте.

Fig. 3. Terrigenous rocks of Kholmok formation at the point of research. The numbers indicate the beds numbers. The rock descriptions is in the text.

фраструктуры, задача изучения трещиноватости становится еще более актуальной.

На выбранном объекте (рис. 2) изучались элементы залегания слоистости, мощность пластов, взаимосвязь количества трещин и расстояний между ними для двух систем ортогональных трещин – J1 и J2 (рис. 4). В системе J1 плоскость трещин параллельна береговой линии, средний азимут падения 202° и угол падения 76° . В системе J2 плоскость трещин перпендикулярна береговой линии, средний азимут падения 287° и угол падения 81° . Средние значения элементов залегания слоистости варьируют от 16 до 45° по азимуту падения и от 12 до 15° по углу падения.

На рис. 4 А показана ориентация плоскостей трещин.

В выбранной точке было исследовано 9 пластов. Каждому пласту присвоен порядковый номер (нумерация снизу вверх). Большинство пластов выбранного объекта имеет мощность от 15 до 80 см. Единственный пласт большой мощности – 3.8 м (пласт № 1) представлен туфогравелитами (рис. 3, 1).

На каждый пласт проводилось по 10 замеров ориентации каждой системы трещин, расстояний между ними, мощности и элементов залегания слоистости – суммарно по 60 замеров для одного пласта. Всего выполнено около 540 измерений.

На рис. 4 В и С показаны зависимости количества трещин от расстояния между ними для двух систем ортогональных трещин. Гистограммы обеих систем трещин практически подобны друг другу. Максимальное количество трещин (60–70) наблюдается в диапазоне 10 см, меньшее (около 20) – в диапазоне 20 см. Для системы J1 довольно многочисленны также расстояния 30 см. Остальные значения для обеих систем трещин находятся в фоновом диапазоне. Относительно азимутов плоскостей трещин (рис. 4 А) наблюдается достаточно очевидная ортогональность, несмотря на существенный разброс значений: от 160 до 230 для J1 и от 240 до 300 для J2.

Зависимость трещиноватости от мощности пласта для системы ортогональных трещин J1 и J2 представлена на рис. 5. Как вид-

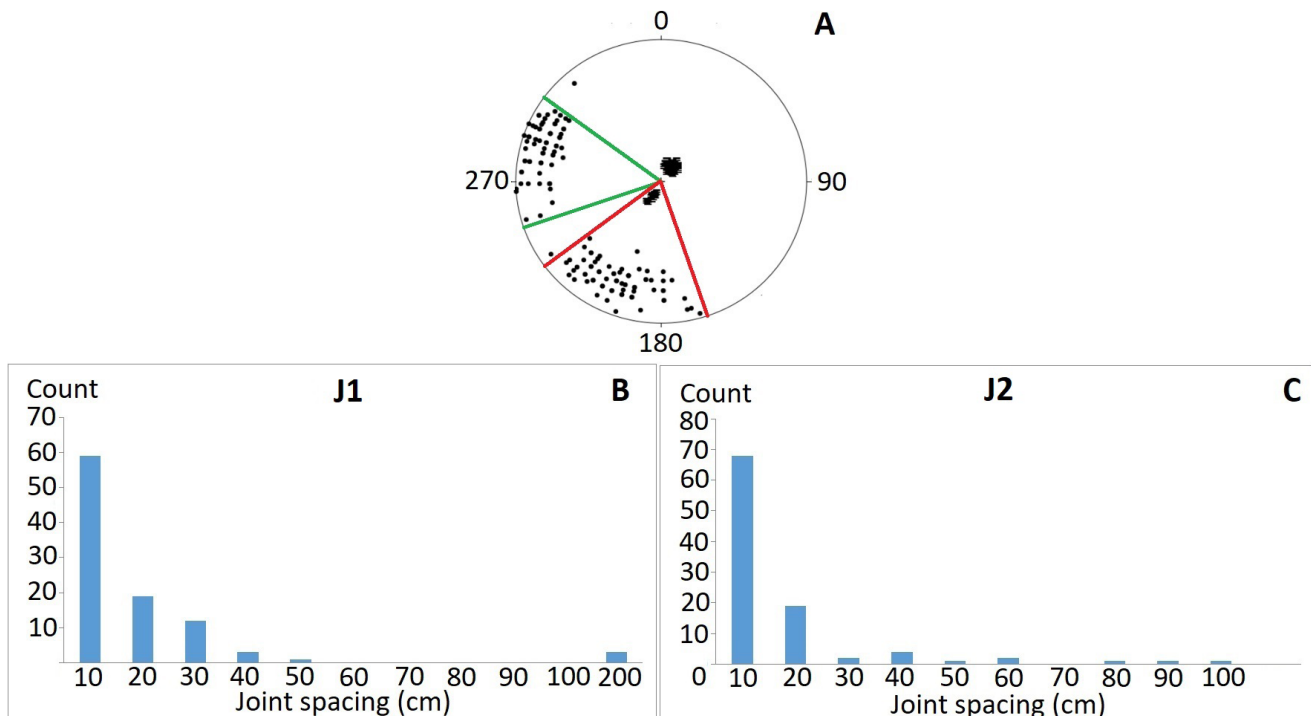


Рис. 4. Элементы залегания слоистости (по центру) и ориентация основной системы трещин (зеленым отмечен западный сектор, красным – южный) с проекцией на верхнюю полусферу (А); взаимосвязь количества трещин и расстояния между ними (В – система J1; С – J2).

Fig. 4. Stratigraphic bedding planes (in the center) and orientation of the main system of fractures (green – western sector, red – southern sector) with projection on the upper hemisphere (A), dependence of joints number versus distance between them (B – systems J1; C – J2).

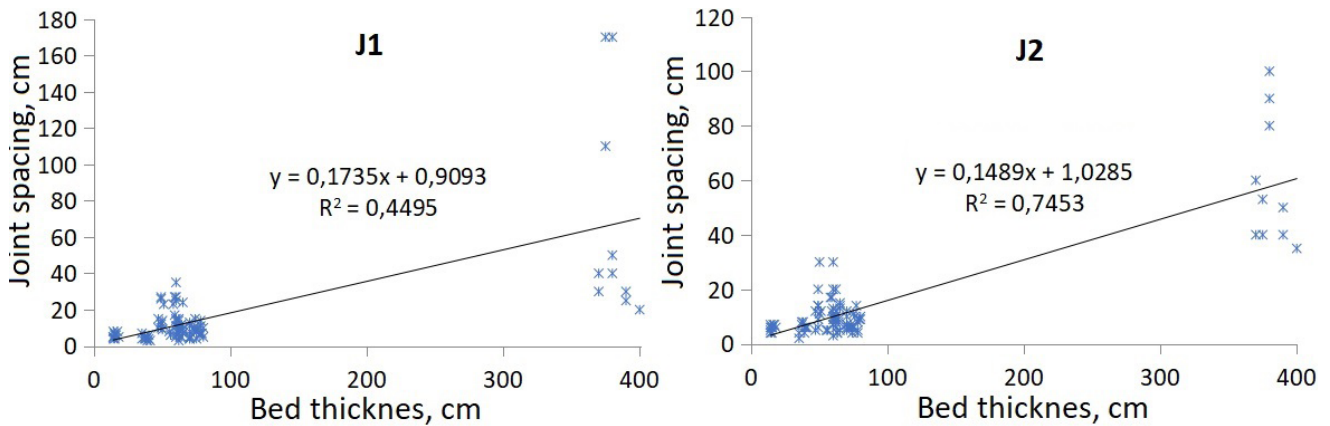


Рис. 5. Зависимость трещиноватости от мощности пласта для систем ортогональных трещин J1 и J2.

Fig. 5. Dependence of fracturing versus bed thickness for the system of orthogonal fractures J1 and J2.

но из рисунка, для получения более точных корреляций недостает диапазонов мощностей пластов 2, 3 и более 4 м. В этом и заключается сложность при выборе объекта исследования.

Тем не менее получены линейные корреляции с удовлетворительной степенью достоверности, что в целом соответствует общемировым данным. В работе [15] приведены корреляции для более представительного распределения мощностей пластов с интервалом от 0.1 до 8 м. Представлена закономерность распределения, описываемая степенной функцией:

$$s(J1) = 0.66t + 2.90 \quad (R^2 = 0.72), \quad (1)$$

$$s(J2) = 1.08t + 12.20 \quad (R^2 = 0.74). \quad (2)$$

Но для мощностей пластов первых метров более адекватна линейная корреляция.

В нашем случае:

$$s(J1) = 0.17t + 0.90 \quad (R^2 = 0.45), \quad (3)$$

$$s(J2) = 0.15t + 1.03 \quad (R^2 = 0.74). \quad (4)$$

Степенная аппроксимация результатов наших измерений дает меньшую достоверность, но при этом корреляция более схожа с величинами в работах [13, 14, 15]:

$$s(J1) = 0.5772t^{0.6988} \quad (R^2 = 0.45), \quad (5)$$

$$s(J2) = 0.5033t^{0.7186} \quad (R^2 = 0.53). \quad (6)$$

Здесь везде s – расстояние между трещинами, t – мощность пласта, R^2 – величина достоверности аппроксимации.

Кроме полученных корреляций (1), (2) в работе [15] проведена обширная систематизация ранее выполненных другими авторами

результатов изучения ортогональной трещиноватости в осадочных породах на различных локациях по всему миру, в том числе и отечественными исследователями на территории СССР. В значительной части этих работ получены линейные корреляции для систем ортогональной трещиноватости, другая часть исследований лучше описывается степенной функцией. В нашем случае малое количество пластов большой мощности не позволяет сделать более конкретные и обоснованные выводы. В будущем, на объектах с широким диапазоном мощностей пластов и наличием системы ортогональной трещиноватости, планируется проведение дополнительных исследований.

Заключение

Для терригенных пород южного Сахалина были получены первые предварительные результаты о зависимости распределения трещиноватости от мощности пласта. Проведены массовые замеры элементов залегания слоистости, мощностей пластов и ориентации систем ортогональной трещиноватости. Полученные зависимости распределения плотности трещин от мощности пласта описываются линейной аппроксимацией, они вполне соответствуют общемировым данным. Предварительные данные показывают важность продолжения исследований в этом направлении. Их результаты могут быть использованы в самом широком спектре развивающейся экономики региона, от строительной до нефтегазовой и горнодобывающей отрасли.

Список литературы

1. Маринин А.В., Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Каменев П.А., Костров Ю.В., Бондарь И.В., Гордеев Н.А., Дегтярев В.А. **2021**. Реконструкция тектонических напряжений на полуострове Шмидта (Сахалин). *Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле*, 4(52): 73–88. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2021-4-52-73-88>
2. Каменев П.А., Маринин А.В., Дегтярев В.А., Лукманов А.Р. **2023**. Реконструкция тектонических напряжений Центрального Сахалина. *Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле*, 1(57): 89–103. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-1-57-89-103>
3. Kamenev P.A., Bogomolov L.M., Usoltseva O.M., Tsoi P.A., Semenov V.N. **2021**. Geomechanical parameters of sedimentary rocks of Southern Sakhalin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/946/1/012013>
4. Шпеталенко Л.П. **1974**. К прогнозированию мелкоамплитудных разрывов угольных месторождений Сахалина. В кн.: *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сахалина и Курильских островов*. Южно-Сахалинск: Сах. отд-ние Дальневост. кн. изд-ва, с. 51–53.
5. Шпеталенко Л.П. **1973**. О количественной характеристике тектонической нарушенности угольных месторождений Сахалина. В кн.: *Геология и перспективы нефтегазоносности, рудного и нерудного сырья Советского Дальнего Востока*. Южно-Сахалинск: Сах. отд-ние Дальневост. кн. изд-ва, с. 91–93.
6. Грецкая Е.В. **1990**. *Исходный нефтегазоматеринский потенциал органического вещества осадков (на примере впадин Охотского моря)*. Владивосток: ДВО АН СССР, 111 с.
7. Харахинов В.В. **2010**. *Нефтегазовая геология Сахалинского региона*. М.: Науч. мир, 275 с.
8. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Синявская О.С., Сизиков Е.А. **2015**. Оценка углеводородного потенциала генерационно-аккумуляционных углеводородных систем Охотского моря. *Труды Рос. гос. ун-та нефти и газа им. И.М. Губкина*, 3: 18–30.
9. Zoback M.D. **2007**. *Reservoir geomechanics*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 505 p.
10. Heidbach O., Rajabi M., Cui X., Fuchs K., Müller K., Reinecker B., Reiter J., Tingay K., Wenzel F., Xie F., Ziegler M., Zoback M.L., Zoback M.D. **2018**. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744: 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>
11. Huang Q., Angelier J. **1989**. Fracture spacing and its relation to bed thickness. *Geological Magazine*, 126(4): 355–362. <https://doi.org/10.1017/S0016756800006555>
12. Saein A.F., Riahi Z.T. **2019**. Controls on fracture distribution in Cretaceous sedimentary rocks from the Isfahan region, Iran. *Geological Magazine*, 156(6): 1092–1104. <https://doi.org/10.1017/S0016756817000346>
13. Chemenda A.I., Lamarche J., Matonti C., Bazalgette L., Richard P. **2021**. Origin of strong nonlinear dependence of fracture (joint) spacing on bed thickness in layered rocks: Mechanical analysis and modeling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(3). <https://doi.org/10.1029/2020JB020656>
14. Chemenda A.I. **2022**. Bed thickness-dependent fracturing and inter-bed coupling define the nonlinear fracture spacing-bed thickness relationship in layered rocks: Numerical modeling. *Journal of Structural Geology*, 165(104741). <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104741>
15. Shaocheng Ji, Le Li, Denis Marcotte. **2021**. Power-law relationship between joint spacing and bed thickness in sedimentary rocks and implications for layered rock mechanics. *Journal of Structural Geology*, 150(104413). <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104413>
16. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Гранник В.М., Нечаюк А.Е. **2012**. Деформации позднемиоценовых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна. *Геотектоника*, 5: 22–43. EDN: РСІКНН
17. Кирюхина Т.А., Бордунов С.И., Соловьева А.А. **2016**. Нефтематеринские толщи в юго-западной части Южно-Сахалинского бассейна. *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология*, 6: 64–73. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2016-6-64-73>
18. Тютрин И.И., Дуничев В.М. **1985**. *Тектоника и нефтегазоносность северо-западной части Тихоокеанского пояса*. М.: Недра, 174 с.

References

1. Marinin A.V., Rebetskiy Yu.L., Sim L.A., Kamenev P.A., Kostrov Yu.V., Bondar I.V., Gordееv N.A., Degtyarev V.A. **2021**. Reconstruction of tectonic stresses on the Schmidt Peninsula (Sakhalin). *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*, 4(52): 73–88. (In Russ.). <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2021-4-52-73-88>
2. Kamenev P.A., Marinin A.V., Degtyarev V.A., Lukmanov A.R. **2023**. Reconstruction of tectonic stresses in Central Sakhalin. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*, 1(57): 89–103. (In Russ.). <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-1-57-89-103>
3. Kamenev P.A., Bogomolov L.M., Usoltseva O.M., Tsoi P.A., Semenov V.N. **2021**. Geomechanical parameters of sedimentary rocks of Southern Sakhalin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/946/1/012013>
4. Shpetalenko L.P. **1974**. [To the prediction of small-amplitude ruptures of Sakhalin coal deposits]. In: *Geology and mineral resources of Sakhalin and the Kuril Islands*. Yuzhno-Sakhalinsk: Sahalinskoe otdelenie Dal'nevostochnogo kn. izd-va, p. 51–53. (In Russ.).
5. Shpetalenko L.P. **1973**. [On the quantitative characteristics of the tectonic disturbance of Sakhalin coal deposits]. In: *Geology and prospects of oil and gas potential, ore and non-metallic raw materials of the Soviet*

- Far East. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalinskoe otdelenie Dal'nevostochnogo kn. izd-va*, p. 91–93. (In Russ.).
6. Gretskaia E.V. **1990**. [*The initial oil and gas source potential of organic matter of sediments (on the example of the depressions of the Sea of Okhotsk)*]. Vladivostok: Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences, 111 p. (In Russ.).
 7. Kharakhinov V.V. **2010**. [*Oil-and-gas geology of the Sakhalin region*]. M.: Nauchnyi mir, 275 p. (In Russ.).
 8. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Sinyavskaya O.S., Sizikov E.A. **2015**. The estimation of hydrocarbon potential of the generative-accumulative hydrocarbon systems of the Sea of Okhotsk. *Proceedings of Gubkin University*, 3: 18–30. (In Russ.).
 9. Zoback M.D. **2007**. *Reservoir geomechanics*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 505 p.
 10. Heidbach O., Rajabi M., Cui X., Fuchs K., Müller K., Reinecker B., Reiter J., Tingay K., Wenzel F., Xie F., Ziegler M., Zoback M.L., Zoback M.D. **2018**. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744: 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>
 11. Huang Q., Angelier J. **1989**. Fracture spacing and its relation to bed thickness. *Geological Magazine*, 126(4): 355–362. <https://doi.org/10.1017/S0016756800006555>
 12. Saein A.F., Riahi Z.T. **2019**. Controls on fracture distribution in Cretaceous sedimentary rocks from the Isfahan region, Iran. *Geological Magazine*, 156(6): 1092–1104. <https://doi.org/10.1017/S0016756817000346>
 13. Chemenda A.I., Lamarche J., Matonti C., Bazalgette L., Richard P. **2021**. Origin of strong nonlinear dependence of fracture (joint) spacing on bed thickness in layered rocks: Mechanical analysis and modeling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(3). <https://doi.org/10.1029/2020JB020656>
 14. Chemenda A.I. **2022**. Bed thickness-dependent fracturing and inter-bed coupling define the nonlinear fracture spacing-bed thickness relationship in layered rocks: Numerical modeling. *Journal of Structural Geology*, 165(104741). <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104741>
 15. Shaocheng Ji, Le Li, Denis Marcotte. **2021**. Power-law relationship between joint spacing and bed thickness in sedimentary rocks and implications for layered rock mechanics. *Journal of Structural Geology*, 150(104413). <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104413>.
 16. Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Grannik V.M., Nechayuk A.E. **2012**. Deformation of the Upper Cretaceous and Cenozoic complexes of the West Sakhalin terrane. *Geotectonics*, 46: 333–351. <https://doi.org/10.1134/S0016852112050020>
 17. Kiryukhina T.A., Bordunov S.I., Solovyeva A.A. **2016**. Source rock in the South-Western part of the South-Sakhalin basin. *Moscow University Bulletin. Series Geology*, 6: 64–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2016-6-64-73>
 18. Tyutrin I.I., Dunichev V.M. **1985**. [*Tectonics and oil-and-gas potential of the northwestern part of the Pacific belt*]. Moscow: Nedra, 174 p. (In Russ.).

Об авторах

Каменев Павел Александрович (<https://orcid.org/0000-0002-9934-5855>), кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии и региональной геологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, p.kamenev@imgg.ru

Лукманов Антон Романович, научный сотрудник лаборатории фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, antonlukmanov@mail.ru

Поступила 20.11.2023

Принята к публикации 3.12.2023

About the Authors

Kamenev, Pavel A. (<https://orcid.org/0000-0002-9934-5855>), Senior Researcher, Laboratory of geochemistry and regional geology, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, p.kamenev@imgg.ru

Lukmanov, Anton R., Researcher, Laboratory fundamental and applied problems of tectonophysics, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, antonlukmanov@mail.ru

Received 20 November 2023

Accepted 3 December 2023