

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

Издается 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



К 20-летию Чуйского землетрясения

УДК 550.34

<https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.4.335-356>
<https://www.elibrary.ru/xkmcum>

Исследование сейсмотектонических деформаций земной коры Алтае-Саянской горной области. Часть II

Н. А. Сычева

E-mail: ivtran@mail.ru

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

Резюме. Статья продолжает изложение результатов исследования сейсмотектонических деформаций (СТД) Алтае-Саянской горной области, опубликованных в предыдущем номере журнала «Геосистемы переходных зон». Она представляет детальные результаты исследования СТД двух зон Алтае-Саянской области: Горного Алтая (области Чуйского землетрясения) и территории, которая включает в себя хр. Академика Обручева, южную часть Восточных Саян и Южное Прибайкалье. Расчет СТД выполнен на основе подходов, предложенных в работах Ю.В. Ризниченко и С.Л. Юнга. Выводы о направленности СТД основаны на данных о фокальных механизмах очагов землетрясений (591 событие), произошедших с 1963 по 2021 г. Для рассматриваемых районов дано описание сейсмичности и построены карты СТД. По картам СТД определены направления осей укорочения и удлинения и отмечен тип деформационных обстановок. На основе усредненных тензоров СТД, полученных для глубин 0–35 км (сейсмогенный слой), построены распределения коэффициента Лодэ–Надаи, угла вида напряженного состояния (угол вида обобщенно-плоской деформации, фазовый угол тензора-девиатора СТД) и вертикальной компоненты. Очаговая область Чуйского землетрясения характеризуется деформацией горизонтального сдвига, через которую проходит полоса с режимом транспрессии (Чаган-Узунский блок). Территория, включающая в себя хр. Академика Обручева, южную часть Восточных Саян и Южное Прибайкалье, по деформационной обстановке делится на две части. Граница проходит вдоль Дархатской впадины: западнее от нее проявляются режимы сжатия, транспрессии и горизонтального сдвига; восточнее – растяжения, транстенсии и переходный режим от вертикального сдвига к растяжению. Чаган-Узунский блок и хр. Академика Обручева испытывают воздымание, а территория восточнее Дархатской впадины – опускание.

Ключевые слова: землетрясение, фокальный механизм, режимы СТД, удлинение и укорочение осей деформаций, интенсивность СТД, коэффициент Лодэ–Надаи, Алтае-Саянская горная область

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

Naylya A. Sycheva

E-mail: ivtran@mail.ru

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article continues to describe the results of the study of seismotectonic deformation (STD) of the Altai-Sayan Mountain region which were presented in previous Issue of «Geosystems of Transition Zones» journal. Given work presents the results of a STD study of two zones of the Altai-Sayan region: the Altai Mountains (the region of the Chuya earthquake) and the territory that includes the Academician Obruchev ridge, the southern part of the Eastern Sayan Mountains and the Southern Baikal region. The STD computation has been performed on the basis of the approaches proposed by well-known publications of Yu.V. Riznichenko and S.L. Yunga. The derivations on STD directions are based on focal mechanisms data (591 events) that occurred from 1963 to 2021). For the considered areas, a description of seismicity is given and STD maps are constructed. According to the STD maps, the directions of the axes of shortening and elongation are determined and the deformation modes is marked. The distributions of the Lode–Nadai coefficient, the angle of kind

of the stressed state (the angle of the generalized plane deformation, the phase angle of STD tensor-deviator) and the vertical component (ZZ) have been constructed using the obtained averaged STD tensors for seismogenic layer of 0–35 km depths. The zone around Chuya earthquake source site is characterized by horizontal shear deformation, with a band of transpression (Chagan-Uzun block) passing through this zone. The territory, which includes Academician Obruchev ridge, the southern part of the Eastern Sayan Mountains and the Southern Baikal region is divided into two parts according to the deformation regime. The boundary runs along the Darkhat depression: the regimes of compression, transpression and horizontal shear occur in zones lying to the west of it; the regimes tension, transtension, and the transitional regime from vertical shear to tension occurs to the east. The Chagan-Uzun block and the Academician Obruchev ridge are uplifted, and the territory to the east of the Darkhat depression is lowered.

Keywords: earthquake, focal mechanism, STD regimes, elongation and shortening of strain axes, STD intensity, Lode–Nadai coefficient, Altai-Sayan Mountain region

Для цитирования: Сычева Н.А. Исследование сейсмотектонических деформаций земной коры Алтае-Саянской горной области. Часть 2. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 4, с. 335–356. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.4.335-356>; <https://www.elibrary.ru/xkmcum>

For citation: Sycheva N.A. Study of seismotectonic deformations of the Earth crust in the Altai-Sayan Mountain region. Part 2. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 4, pp. 335–356. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.4.335-356>; <https://www.elibrary.ru/xkmcum>

Финансирование и благодарности

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (тема № 122040600089-4). Автор признателен рецензентам за конструктивные замечания и рекомендации.

Funding and Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Schmidt Institute of Earth Physics of the Russian Academy of Sciences (theme no. 122040600089-4). The Author would like to thank the respected Reviewers for the constructive suggestions and recommendations.

Введение

27 сентября 2003 г. на территории Горного Алтая в долине р. Чуя в горной перемычке между Чуйской и Курайской впадинами произошло землетрясение с магнитудой $M_S = 7.3^*$, $\phi = 50.06^\circ\text{N}$, $\lambda = 87.97^\circ\text{E}$ [1]. За всю историю сейсмологических наблюдений на юге Горного Алтая землетрясения такой магнитуды не наблюдались [2, 3]. Этому землетрясению посвящено много работ [2–6 и др.]. В 2023 г. исполнилось 20 лет со дня землетрясения, однако оно продолжает вызывать живой интерес в научных кругах. Например, В.А. Ашурков [7] предлагает область Чуйско-Курайского землетрясения сделать полигоном выявления причин возникновения таких событий: «Чуйское землетрясение 2003 года представляет уникальную возможность взглянуть на проблему прогноза землетрясений с иной точки зрения, нежели принято сегодня, поставив во главу угла причину возникновения и процесс (механизм) подготовки землетрясения» [7, с. 58]. Уникальность землетрясения, считает автор, состоит в том, что со времени Чуйского землетрясения 1923 г. прошло 80 лет и этот период можно считать временем

подготовки события 2003 г. «Если отследить от начала зарождения до финальной стадии (сброса накопленной энергии очага) подготовку землетрясения, предоставляется реальная возможность выйти на «засечку» установления оперативного (дни, часы) времени следующего землетрясения в этой области» [7, с. 58]. В работе [5] также рекомендуется всестороннее изучение состояния геологической среды Чуйско-Курайской очаговой зоны с целью дальнейшего прогноза сильных событий в этом районе. В частности, отмечено, что нет оснований полагать, будто сейсмическая активность Северо-Чуйского «треугольника» (очаговая область Чуйского землетрясения) разрешилась сейсмическими ударами 2003 г. Но также нет оснований полагать, что сейсмическая активность Северо-Чуйского «треугольника» будет постоянно поддерживаться на высоком энергетическом уровне сентября–октября 2003 г.

Чуйское землетрясение не только повысило интерес исследователей к этому региону, но и способствовало развитию сети Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизи-

* Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2003 год (отв. ред. О.Е. Старовойт). Обнинск: ГС РАН, 2003–2004.

ческая служба Российской академии наук» (АСФ ФИЦ ЕГС РАН). Если до 2003 г. сейсмическая сеть региона насчитывала 26 цифровых сейсмологических станций [8], то на конец 2021 она выросла до 53 станций [9] (рис. 1 а). Расширение сети позволяет наиболее полно регистрировать сейсмические события, происходящие в этом регионе.

На рис. 1 а показаны эпицентры землетрясений, произошедших в Алтае-Саянской горной области. При построении данной карты сейсмичности использовался каталог землетрясений, сформированный из приложений к ежегоднику «Землетрясения России» (<http://www.ceme.gsras.ru/zr/>) за 1997–2021 гг. по регионам «Алтай и Саяны» и «Прибайкалье, Забайкалье» ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.ceme.gsras.ru/new/catalog/>). Каталог включает 18029 землетрясений, он был описан в первой части статьи [10]. Для большей части землетрясений в каталоге приведен энергетический класс, для событий последних лет указывается локальная магнитуда или магнитуда из соответствующих публикаций. Приводимые при рассмотрении землетрясений магнитуды взяты из источников данных об этих землетрясениях. Звездочками на карте отмечены события с $M \geq 6$: Чуйское (2003 г.) и его сильные афтершоки, Култукское (2008 г.), два Тувинских землетрясения (2011 и 2012 гг.), два землетрясения, которые произошли в восточной части Казахстана (2017 и 2019 гг.) и Хубсугульское (2021 г.).

В предыдущей нашей работе по Алтае-Саянской горной области [10] представлены результаты исследования сейсмотектонических деформаций земной коры на этой территории. Выполнена оценка распределения сейсмичности, расчет среднегодовой скорости СТД, выделены области проявления сейсмической активности и интенсивных сейсмотектонических деформаций. На рис. 1 штриховым контуром обозначены области, для которых в первой части статьи [10] были получены наиболее подробные карты СТД (рис. 1 б). Большая часть землетрясений, отмеченных звездочками на рис. 1 а, произошла в выделенных областях: в левой – Чуйское и его сильные афтершоки, в правой – Тувинские, Култукское и Хубсугульское землетрясения. Хубсугульское

землетрясение 2021 г. является крупнейшим на Хубсугульском разломе. В связи с этим событием сейсмически активизирован участок границы древнего Тувино-Монгольского микроконтинента, в котором размещены параллельные рифтовые впадины: Хубсугульская, Дархатская, а также Бусингольская, состоящая из трех линейно вытянутых впадин [11].

Геодинамические процессы Алтае-Саянской горной области и Южного Прибайкалья на основе сейсмологических данных описывались во многих работах [12–20]. Исследования проводились на основе анализа фокальных механизмов сильных землетрясений, либо к сейсмическим данным применялся метод сейсмотектонических деформаций или катакластического анализа. Поле деформации земной коры этого региона по данным ГНСС (Глобальной навигационной спутниковой системы) получено в работах [21–23], результаты оценки напряженного состояния земной коры по геолого-структурным данным описаны в работе [24].

Использование метода СТД на основе подходов, предложенных С.Л. Юнга, позволяет строить карты СТД, где одновременно отображается как направление осей укорочения и удлинения, так и режимы деформации. Такое представление результатов позволяет сравнивать картину СТД как с полем деформации по ГНСС-данным, так и с полем напряжений, рассчитанным на основе МКА (метод катакластического анализа) и других методов, а также сравнивать данные результаты с результатами по СТД, полученными нами [25–27] и другими исследователями для разных регионов мира.

Целью данной работы является анализ сейсмичности и характеристик СТД для двух районов Алтае-Саянской горной области: Горный Алтай и область, включающая хр. Академика Обручева, южную часть Восточных Саян и Южное Прибайкалье.

Первая область вызывает интерес в связи с произошедшим в 2003 г. Чуйским землетрясением. Вторая – в связи с расположением в этой части большинства сильных землетрясений последнего времени, а также активизацией сейсмического процесса на этой территории в связи с Хубсугульским землетрясением. Рассмотрение этих областей в выбранном аспекте

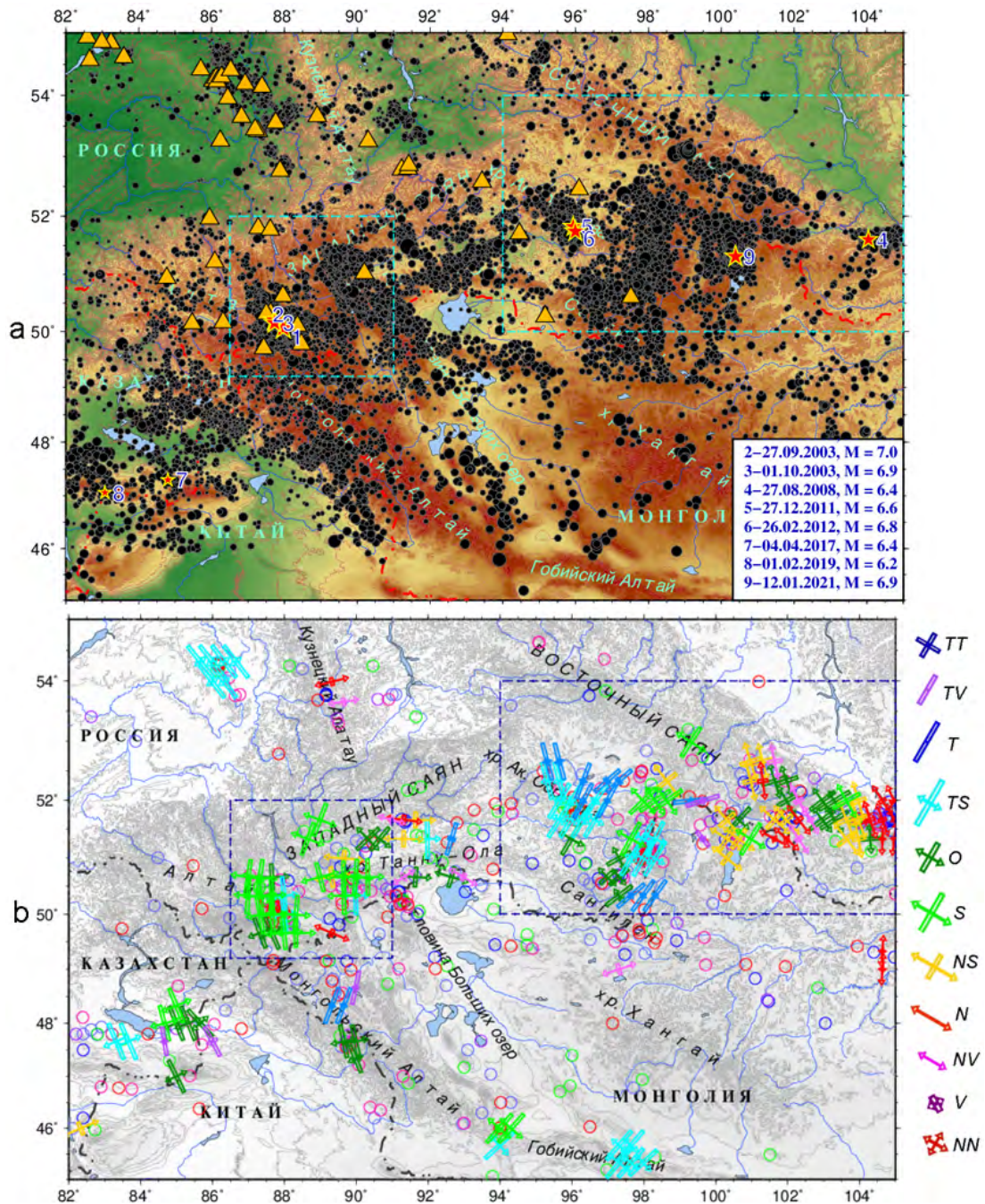


Рис. 1. (а) Эпицентры 18 029 землетрясений, произошедших с 1997 по 2021 г. (каталог ЕГС РАН). Треугольники – положение сейсмических станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН. Звездочки – положение землетрясений с $M \geq 6$. Цифрами на карте отмечены землетрясения, дата и магнитуда которых приведены в легенде. (б) Карта СТД, построенная по сетке с шагом 0.33° и с радиусом круговой области $R = 0.35^\circ$. Количество узловых точек – 152 (по данным [10]). Здесь и на других картах штрих-пунктирные линии – государственные границы. Классификация режимов СТД: *TT* – всестороннее сжатие, *TV* – переходный режим от вертикального сдвига к сжатию, *T* – сжатие, *TS* – транспрессия, *O* – косой сдвиг, *S* – горизонтальный сдвиг, *NS* – транстension, *N* – растяжение, *NV* – переходный режим от вертикального сдвига к растяжению, *V* – вертикальный сдвиг, *NN* – всестороннее растяжение. Штриховым контуром обозначены области, для которых в первой части статьи [10] были получены наиболее подробные карты СТД.

Fig. 1. (a) Epicenters of 18,029 earthquakes that occurred from 1997 to 2021 (the UGS RAS catalogue). Triangles – the position of seismic stations of the ASB FRC UGS RAS. Asterisks indicate the position of earthquakes with $M \geq 6$. The digits on the map denote the earthquakes, which data and magnitudes are given by the legend. (b) STD map was built on a grid with a step of 0.33° and with a radius of the circular area $R = 0.35^\circ$. Number of nodal points – 152 according to [10]. Here and on other maps, dash-dotted lines – state boundaries. The classification of STD modes: *TT* – all-round compression, *TV* – transitional mode from vertical shift to compression, *T* – compression, *TS* – transpression, *O* – oblique, *S* – horizontal shift, *NS* – transtension, *N* – tension, *NV* – transitional mode from vertical shift to tension, *V* – vertical shift, *NN* – all-round tension. Dashed outline indicate the areas, for which the most detailed STD map in the first part of the article [10] were built.

обеспечено наличием представительной базы данных по фокальным механизмам очагов землетрясений.

Исходные данные и методика

В основе исследований лежит метод расчета сейсмотектонических деформаций с использованием данных о фокальных механизмах очагов землетрясений. Методика расчета СТД, коэффициента Лодэ–Надаи μ_e и угла напряженного состояния ω по С.Л. Юнга (угол вида обобщенно-плоской деформации, фазовый угол тензора-девиатора СТД) представлена в первой части статьи [10], а также в нашей с соавторами монографии [28] и здесь не рассматривается.

Банк данных о фокальных механизмах очагов, используемый в данной статье при расчете, включает в себя 591 землетрясение с $K \geq 9$ (1963–2021 гг.). При описании отдельных землетрясений магнитуда приводится из рассматриваемых источников. Около 25 % землетрясений имеют класс $K = 9.5$ ($M = 3.25$). Наиболее равномерно представлен

период с 1993 по 2003 г. Глубина землетрясений до 35 км. Каталог фокальных механизмов собран из различных источников. Пересчет магнитуды землетрясения в класс осуществлялся по формуле: $K = 1.8M + 4$ [29], эта же зависимость использовалось и при пересчете класса в магнитуду.

Фокальные механизмы землетрясений, произошедших в рассматриваемых областях, представлены на рис. 2: Горный Алтай – 103 события; хр. Академика Обручева, южная часть Восточных Саян и Южное Прибайкалье – 240 событий. Эти события составляют 59 % от всего каталога фокальных механизмов землетрясений Алтае-Саянской горной области [10]. На рис. 2 и на других картах обозначены локальные и региональные разломы по [30].

При проведении расчетов направленности сейсмотектонической деформации посредством осреднения исходных данных геоструктурная область подразделяется на элементарные подобласти с некоторым радиусом, центры которых размещаются в узлах (узловые точки) специально выбранной сетки. Выбор

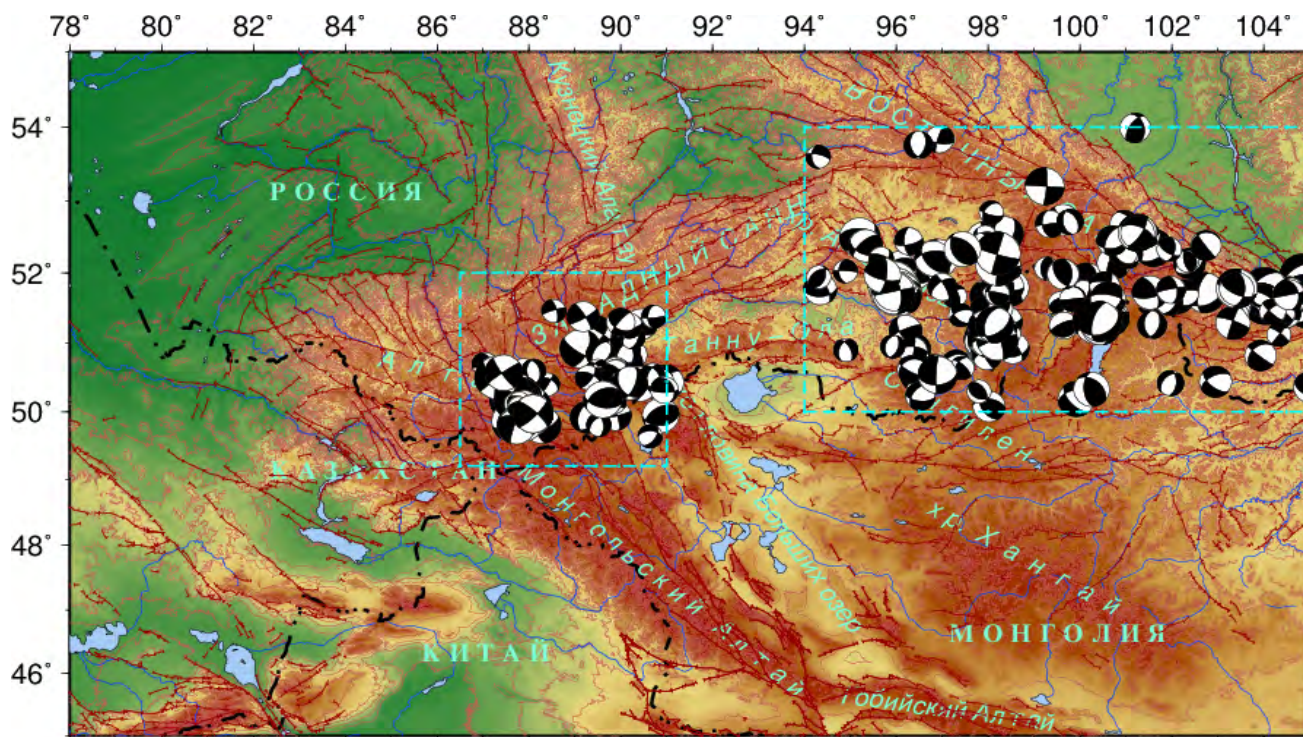


Рис. 2. Фокальные механизмы очагов землетрясений, произошедших на выделенных территориях исследования: область слева – с 1973 по 2019 г.; справа – с 1972 по 2021 г. Коричневые линии здесь и серые на других картах – локальные и региональные разломы по [30].

Fig. 2. Focal mechanisms of earthquakes occurred in the specified study areas: on the left – from 1973 to 2019; on the right – from 1972 to 2021. Brown lines herein and grey lines on the maps below denote the location of local and regional faults according to [30].

узловых точек осуществлен по двум сеткам: с шагом 0.2° (~20 км) и с шагом 0.33° (~33 км). В первом случае рассматривается область с радиусом $R = 0.25^\circ$ (~25 км), во втором $R = 0.35^\circ$ (~35 км). Первый набор параметров позволяет выделить локальные особенности, второй приводит к более сглаженной картине.

Результаты

Для территорий, очерченных на рис. 2 прямоугольниками, построены диаграммы распределения азимутов осей сжатия и растяжения, а также графики зависимости числа землетрясений от угла погружения (рис. 3). Значения углов простираения при этом усреднялись с шагом 5° , а углов погружения – с шагом 10° .

Для Горного Алтая (см. рис. 3 а) выделяется два направления оси сжатия – северо-северо-западное и северное, ось растяжения имеет субширотное направление. Количественное распределение числа осей сжатия и растяжения в зависимости от угла погружения имеет

идентичный вид. Положение большей части этих осей близкое к субгоризонтальному.

Для второй рассматриваемой территории (см. рис. 3 б) ось сжатия также имеет два направления – северо-северо-восточное и северо-восточное, ось растяжения меняет свое направление от северо-западного до северо-северо-западного. Положение оси сжатия для 32 % землетрясений субвертикальное (более 50°), для 52 % – субгоризонтальное (до 30°). Положение оси растяжения субвертикальное для 23 % событий и субгоризонтальное для 58 %.

Статистические характеристики параметров осей главных напряжений позволяют определить некоторые закономерности деформационных процессов. Согласно рис. 3, направления осей сжатия и растяжения, а также угла погружения осей для двух рассматриваемых регионов отличаются друг от друга, что может являться отражением разных деформационных обстановок. Ниже представлены описание сейсмичности и результаты расчета СТД для каждого региона отдельно.

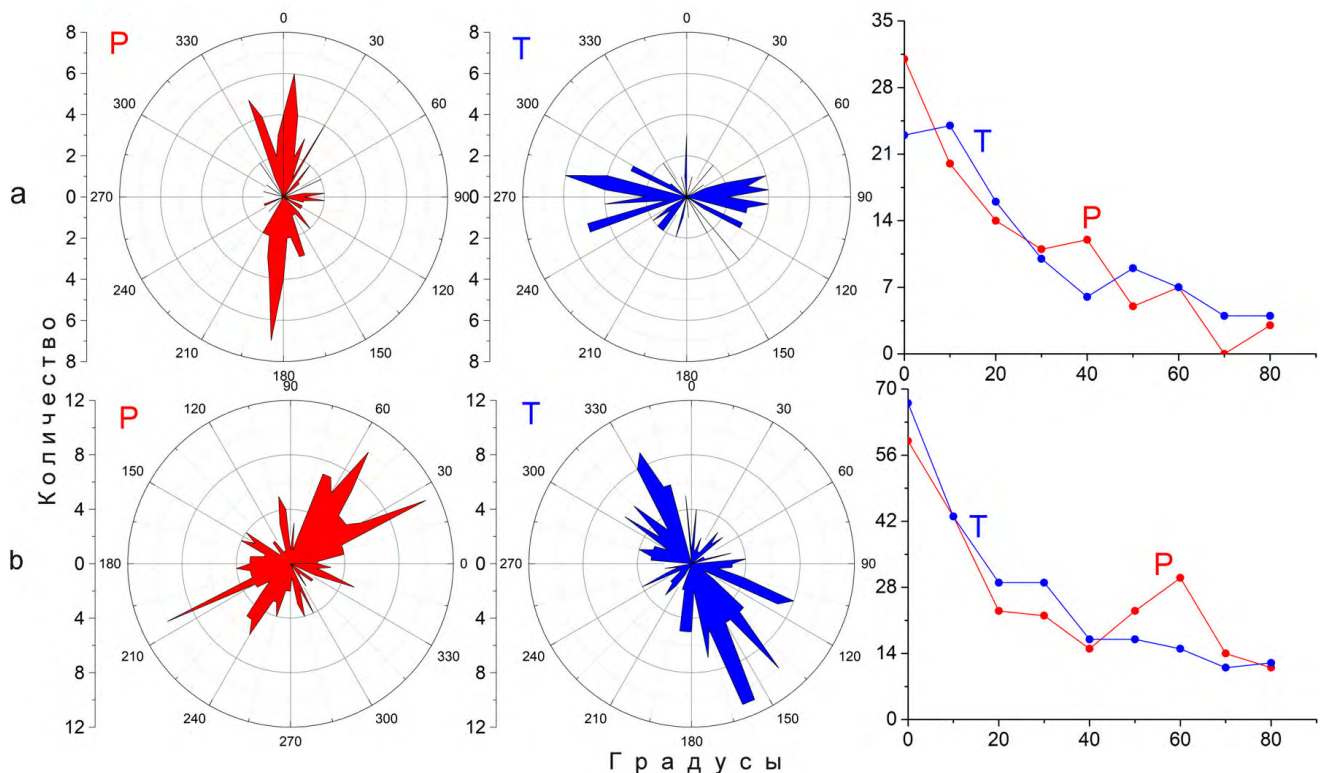


Рис. 3. Диаграммы направлений и количественная зависимость от угла погружения осей сжатия (P) и растяжения (T): а – для Горного Алтая, б – для хр. Академика Обручева, южной части Восточных Саян и Южного Прибайкалья.

Fig. 3. Direction diagrams and quantitative dependence on the plunge angle of the compression (P) and tension (T) axes: а – for Gorny Altai, б – for Academic Obruchev ridge, the southern part of the Eastern Sayany Mountains and the Southern Baikal region.

Горный Алтай (Чуйская и Курайская впадины)

Чуйско-Курайская зона новейших впадин расположена в юго-восточной части Горного Алтая на границе Айгулакско-Курайского и Чуйско-Сайлюгемского поднятий. В пределах зоны Сукорский (Чаган-Узунский) тектонический блок разделяет единую структуру на две крупных депрессии: Курайскую и Чуйскую впадины. Границами зоны являются: с севера – Курайский, с юга – Чарышко-Теректинский глубинные разломы. Восточным ограничением впадины служит дизъюнктив, отделяющий ее от поднятия хр. Чихачёва [31].

Чуйское землетрясение с $M = 7.3$, произошедшее на территории Горного Алтая 27 сентября 2003 г., сопровождалось активным афтершоковым процессом [32]. До него на этой территории отмечались отдельные землетрясения с $M \geq 5$ (рис. 4 а). Одно из них, о котором упоминается во введении, произошло в 1923 г., его положение близко к координатам Чуйского землетрясения 2003 г. В среднем течении р. Чуй, в Курайской впадине и в западной ча-

сти Чуйской впадины в прошлом происходили сильные землетрясения с интенсивностью, соответствующей на поверхности 9-10 баллам [33]. Ранее это только предполагалось на основании сходства сейсмотектонических условий Горного и Монгольского Алтая [34]. Эти землетрясения оставили на поверхности первичные сейсморазрывы и многочисленные сейсмогравитационные дислокации. Закартированные сейсмодислокации на площади длиной 100 и шириной 30 км соответствуют размерам эпицентральной зоны землетрясения с магнитудой >7 [33].

На рис. 4 б представлены эпицентры землетрясений, которые произошли на этой территории после Чуйского события. Звездочками отмечены положения Чуйского землетрясения и его афтершоков, а также землетрясений с $M \geq 6$, произошедших здесь уже в 2012 и 2013 гг. При анализе сейсмичности Алтая и Саян за 2016 г. в [36] отмечена высокая сейсмическая активность в зоне Чуйского землетрясения 2003 г. Наиболее сильное землетрясение в этом районе с $M = 4.2$ ($M_s = 4.2$)

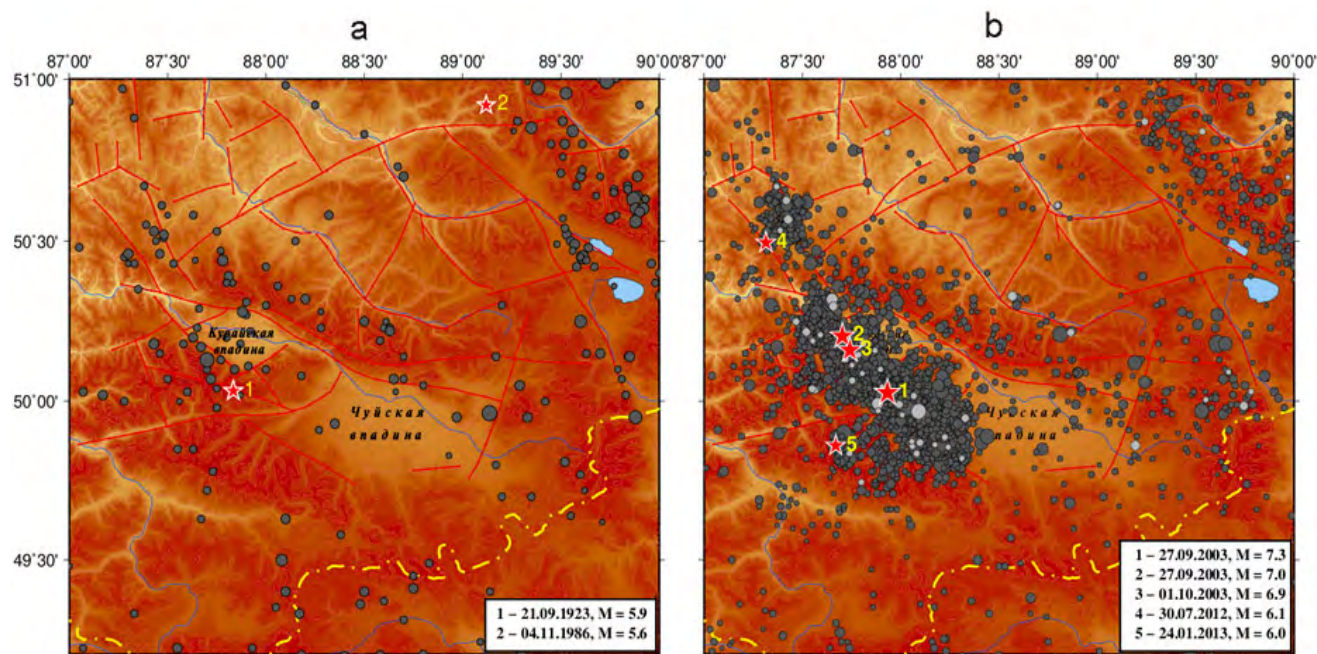


Рис. 4. Эпицентры землетрясений, произошедших с 1923 г. до Чуйского события (27.09.2003, $M = 7.3$) (а) и после него (б). Красные звездочки: слева – эпицентры землетрясений с $M \geq 5$, справа – два главных толчка и афтершоки с $M \geq 6$. Цифрами обозначены землетрясения, для которых указаны дата и магнитуда. Светло-серым на рис. 4 б отмечены землетрясения 2015–2016 гг. (по [35]).

Fig. 4. Epicenters of earthquakes that occurred from 1923 before the Chui event (27.09.2003, $M = 7.3$) (a) and after it (b). Red asterisks: on the left – the epicenters of earthquakes with $M \geq 5$, on the right – two main shocks and aftershocks with $M \geq 6$. The numbers indicate earthquakes, for which the date and magnitude are indicated. Light gray symbols in Fig. 4 b mark the earthquakes in 2015–2016 (according to [35]).

произошло 20.09.2016 вблизи эпицентра главного толчка 2003 г. на стыке Северо-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов и Чуйской впадины [35]. Большое количество землетрясений, произошедших в 2015–2016 гг. (на рис. 4 b отмечены светло-серым), свидетельствует об активности всей очаговой зоны Чуйского землетрясения.

Ограниченное число данных по фокальным механизмам не позволяет рассмотреть характеристики STD как на разных глубинах, так и в разные периоды времени: до Чуйского землетрясения и после него. Период с 1973 до 2003 г. представлен 47 событиями, а с 2003 до 2019 г. – 54.

На рис. 5 приведены карты STD для двух вариантов расчета, которые позволяют отметить устойчивость результатов расчета и в то же время выделить локальные особенности. Расчет STD выполнен для слоя 35 км.

Согласно классификации режимов STD, очаговая область Чуйского землетрясения характеризуется деформацией горизонтального сдвига, в нескольких точках которой отмечается режим транспрессии (рис. 5 а, часть Курайской впадины и Чаган-Узунский блок).

В северной части Чуйской и в восточной части Курайской впадин режим горизонтального сдвига сменяется режимом трансенсии. На рис. 5 b этот режим отсутствует, так как увеличение области осреднения приводит к сглаживанию результата. Режим горизонтального сдвига отмечен и в южной части Шапшальского хребта вдоль долины р. Чулышман. В крайней южной части этой территории проявляется переходный режим от вертикального сдвига к сжатию, а в восточной части – режим сжатия (см. рис. 5 а). Оси укорочения для рассматриваемой территории ориентированы в субмеридиональном направлении.

В работе [37] по материалам сейсмологических исследований с временными сетями станций в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 2003 г. рассчитано локальное поле тектонических напряжений на основе данных о механизмах очагов афтершоков с помощью МКА [38]. Результаты расчетов представлены по землетрясениям с магнитудами двух диапазонов: $1.0 \leq M_s \leq 3.7$ (420 афтершоков) и $3.8 \leq M_s \leq 5.3$ (82 афтершока) – локальный (линейный размер осреднения до первых ки-

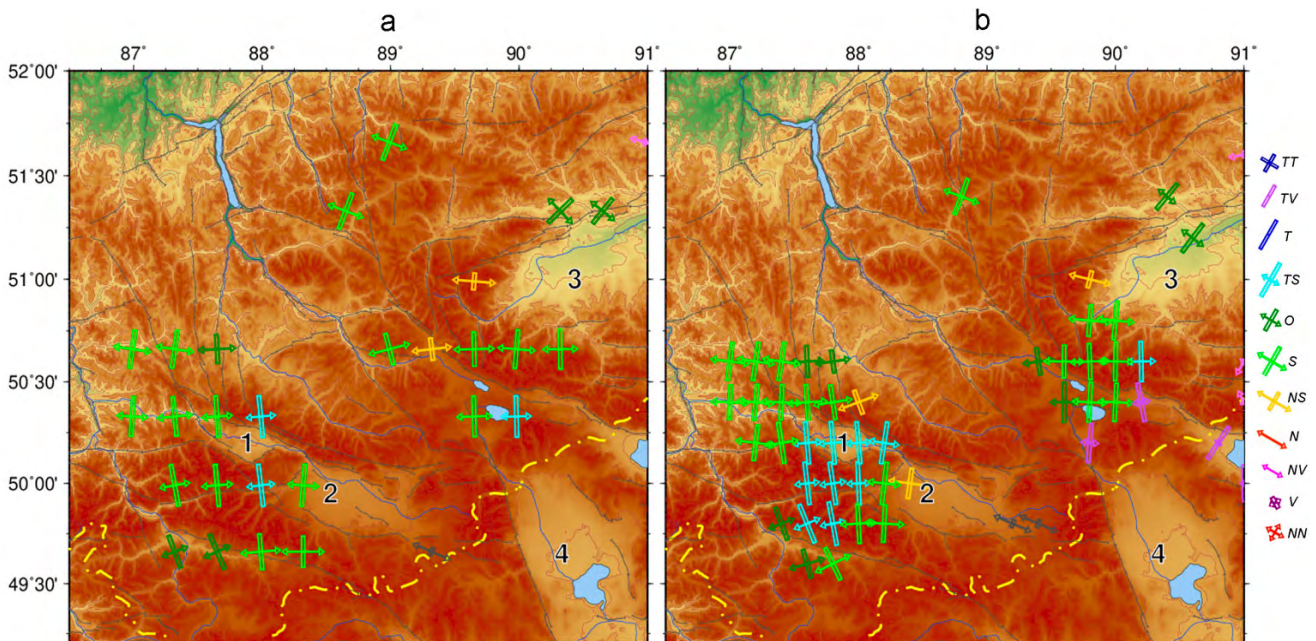


Рис. 5. Карта STD: (а) – расчет выполнен по узловым точкам, расположенным по сетке с шагом 0.2° и радиусом круговой области $R = 0.25^\circ$; (b) – по сетке с шагом 0.33° и радиусом $R = 0.35^\circ$. Впадины: 1 – Курайская; 2 – Чуйская; 3 – Тувинская; 4 – Котловина Больших озер. Обозначения режимов STD см. на рис. 1 б.

Fig. 5. STD map: (a) – the computation by nodal points located on a grid with 0.2° step, and a radius of the circular area $R = 0.25^\circ$; (b) – on a grid with 0.33° step and a radius of the circular area $R = 0.35^\circ$. Depressions: 1 – Kuraiskaya; 2 – Chuyskaya; 3 – Tuvinskaya; 4 – Kotlovina Bol'shikh Oser (Basin of the Great Lakes). See in the Fig 1 b the notations of STD modes.

лометров) и субрегиональный (линейный размер осреднения десятки километров) уровни, отвечающие локальной геологической и крупной тектонической структурам соответственно [37].

На верхней панели рис. 6 даны карты СТД и распределение коэффициента Лоде–Надаи μ_c , полученное нами в данной работе*, а на нижней, для сравнения, результаты первого этапа реконструкции напряжений – тип напряженного состояния и распределение коэффициента Лоде–Надаи μ_c из работы [37]. При расчете СТД рассматриваются все землетрясения, попавшие в элементарную область, и вклад каждого определяется весовым коэффициентом. Напомним, что расчет СТД с шагом сетки 0.2° и радиусом круговой области $R = 0.25^\circ$ отображает локальные особенности, а при увеличении шага сетки и радиуса элементарной области результаты сглаживаются. В работе [37] рассматриваются землетрясения локального и субрегионального уровня отдельно. Расчеты СТД, выполненные по сетке с меньшим шагом и меньшим радиусом, будем сравнивать с локальным уровнем из [37], а выполненные по сетке с большим шагом и большим радиусом – с субрегиональным.

По расчетам СТД, для исследуемой территории характерен режим горизонтального сдвига и в двух точках проявляется режим транспрессии (рис. 6 а, верх). Уменьшение шага сетки и радиуса элементарной области приводит к увеличению области с режимом транспрессии (рис. 6 б, верх). По данным [37], на субрегиональном уровне проявляется режим горизонтального сдвига (рис. 6 а, внизу), а на локальном уровне, на фоне режима горизонтального сдвига, появляются две области, для которых отмечены режимы сжатия со сдвигом, сжатия и поддвига (рис. 6 б, внизу). Таким образом, наши результаты не противоречат данным из [37], а некоторые различия обусловлены разным подходом в формировании выборки и выделении области расчета при СТД и МКА (см. об этом в [10]).

Сравнивая наши данные по распределению коэффициента Лоде–Надаи (см. рис. 6 с

и d, верхняя панель) с результатами из работы [37] (см. рис. 6 с и d, внизу), с учетом разного масштаба усреднения, видим, что характерными режимами деформации для очаговой зоны Чуйского землетрясения являются простое сжатие, преобладание простого сжатия и простой сдвиг.

На рис. 7 а представлено распределение коэффициента Лоде–Надаи, угла напряженного состояния ω и вертикальной компоненты усредненных тензоров деформации.

Согласно значению коэффициента Лоде–Надаи, очаговая область Чуйского землетрясения характеризуется сдвиговым режимом, через которую проходит зона преобладания простого сжатия. Южную часть территории Шапшальского хребта с юга характеризует деформация с преобладанием простого сжатия, которая сменяется деформацией простого сдвига, а в северной ее части – деформация с преобладанием простого растяжения.

Распределение угла вида напряженного состояния ω (рис. 7 б) показывает, что зоны, которые характеризуются режимом преобладания простого сжатия, имеют угол близкий к 60° , это также может свидетельствовать о повышенных напряжениях в горизонтальной плоскости. Положительное значение вертикальной компоненты (рис. 7 с) для территории Чаган-Узунского блока указывает на воздымание этой территории.

Согласно построенным картам сейсмичности, наблюдается слабая сейсмичность до 2003 г. и активный сейсмический процесс в очаговой зоне Чуйского землетрясения, продолжающийся до настоящего времени. По картам СТД определены направления осей укорочения и удлинения, а также режимы деформации, характерные для рассматриваемой территории: горизонтальный сдвиг и транспрессия. Судя по распределению коэффициента Лоде–Надаи, исследуемая территория большей частью испытывает деформацию простого сдвига и преобладания простого сжатия. Для большей части рассматриваемой территории характерно воздымание. Область Чаган-Узунского блока характеризуется повышенными напряжениями в горизонтальной плоскости.

* В координатах территории, исследуемой в [37].

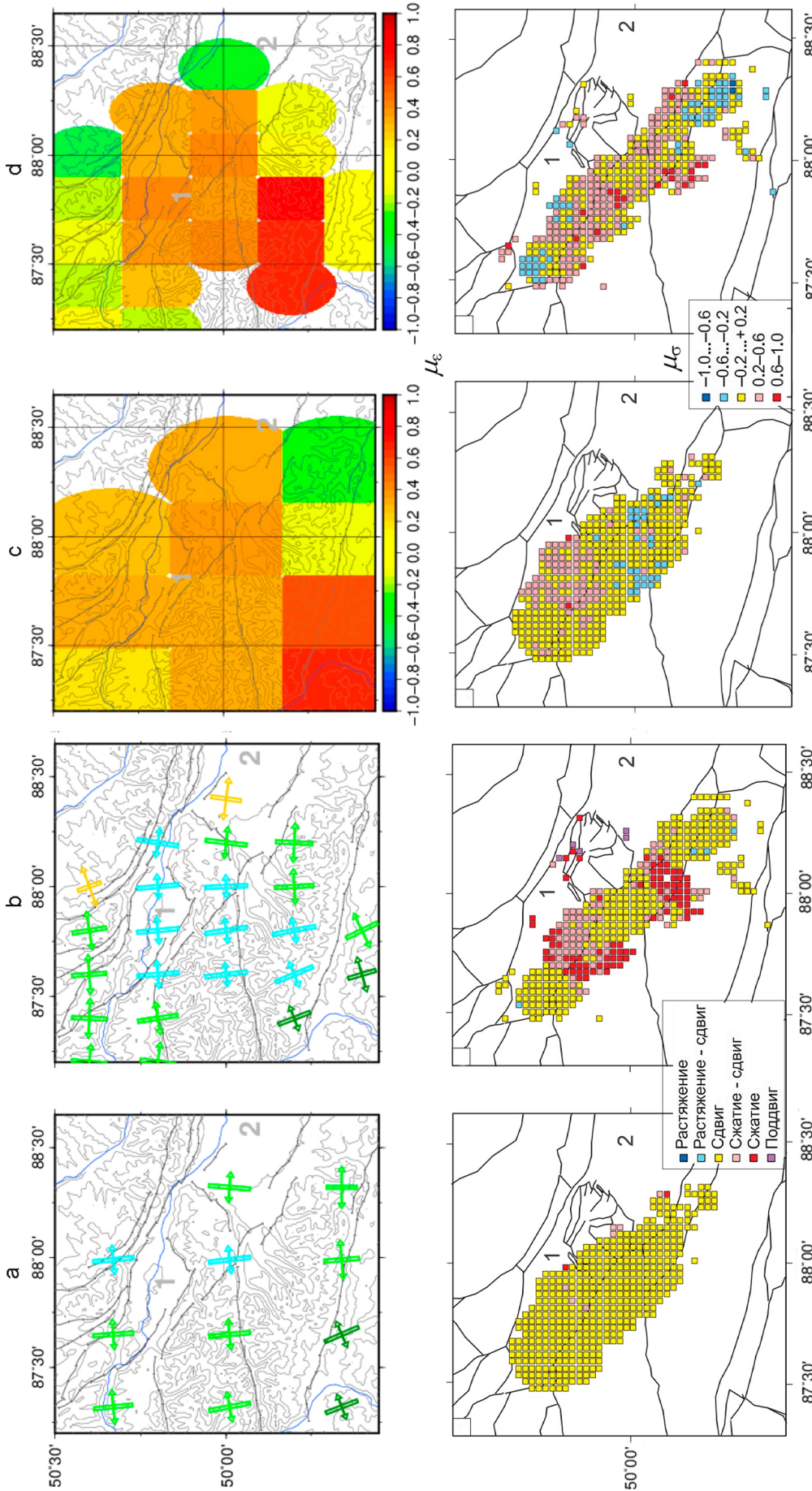


Рис. 6. Верхняя панель: карта СТД (a, b) и распределение коэффициента Лодэ-Надаи μ_e (c, d). (a, c) – шаг сетки 0.33° и $R = 0.35^\circ$, (b, d) – шаг сетки 0.2° и $R = 0.25^\circ$. Нижняя панель (по [37]): тип напряженного состояния (a, b) и коэффициент Лодэ-Надаи μ_e (c, d). (a, c) – по группе сильных событий с $3.8 \leq M_s \leq 5.3$; (b, d) – по группе слабых событий с $1.0 \leq M_s \leq 3.7$. Впадины: 1 – Курайская; 2 – Чуйская.

Связь значения коэффициента Лодэ-Надаи с режимом СТД: $(0.6 < \mu_e \leq 1.0, \text{красный})$ – простое сжатие; $(0.2 < \mu_e \leq 0.6, \text{оранжевый})$ – преобладание простого сжатия; $(-0.2 < \mu_e \leq 0.2, \text{желтый})$ – простой сдвиг; $(-0.6 \leq \mu_e < -0.2, \text{зеленый})$ – преобладание простого растяжения; $(-1.0 \leq \mu_e < -0.6, \text{синий})$ – простое растяжение.

Fig. 6. Upper panel is STD map (a, b) and distribution of the Lode-Nadai coefficient μ_e (c, d). (a, c) – grid step 0.33° and $R = 0.35^\circ$; (b, d) – grid step 0.2° and $R = 0.25^\circ$. Lower panel includes maps in accordance with [37]: type of stress state (a, b) and Lode-Nadai coefficient μ_e (c, d). (a, c) – for a group of strong events with $3.8 \leq M_s \leq 5.3$; (b, d) – for the group of weak events with $1.0 \leq M_s \leq 3.7$. The numbers indicate the depressions: 1 – Kuraiskaya, 2 – Chuyskaya.

Relationship between the Lode-Nadai coefficient and the STD regime: $(0.6 < \mu_e \leq 1.0, \text{red})$ – simple compression; $(0.2 < \mu_e \leq 0.6, \text{orange})$ – predominance of simple compression; $(-0.2 < \mu_e \leq 0.2, \text{yellow})$ – simple shift; $(-0.6 \leq \mu_e < -0.2, \text{green})$ – predominance of simple tension; $(-1.0 \leq \mu_e < -0.6, \text{blue})$ – simple tension.

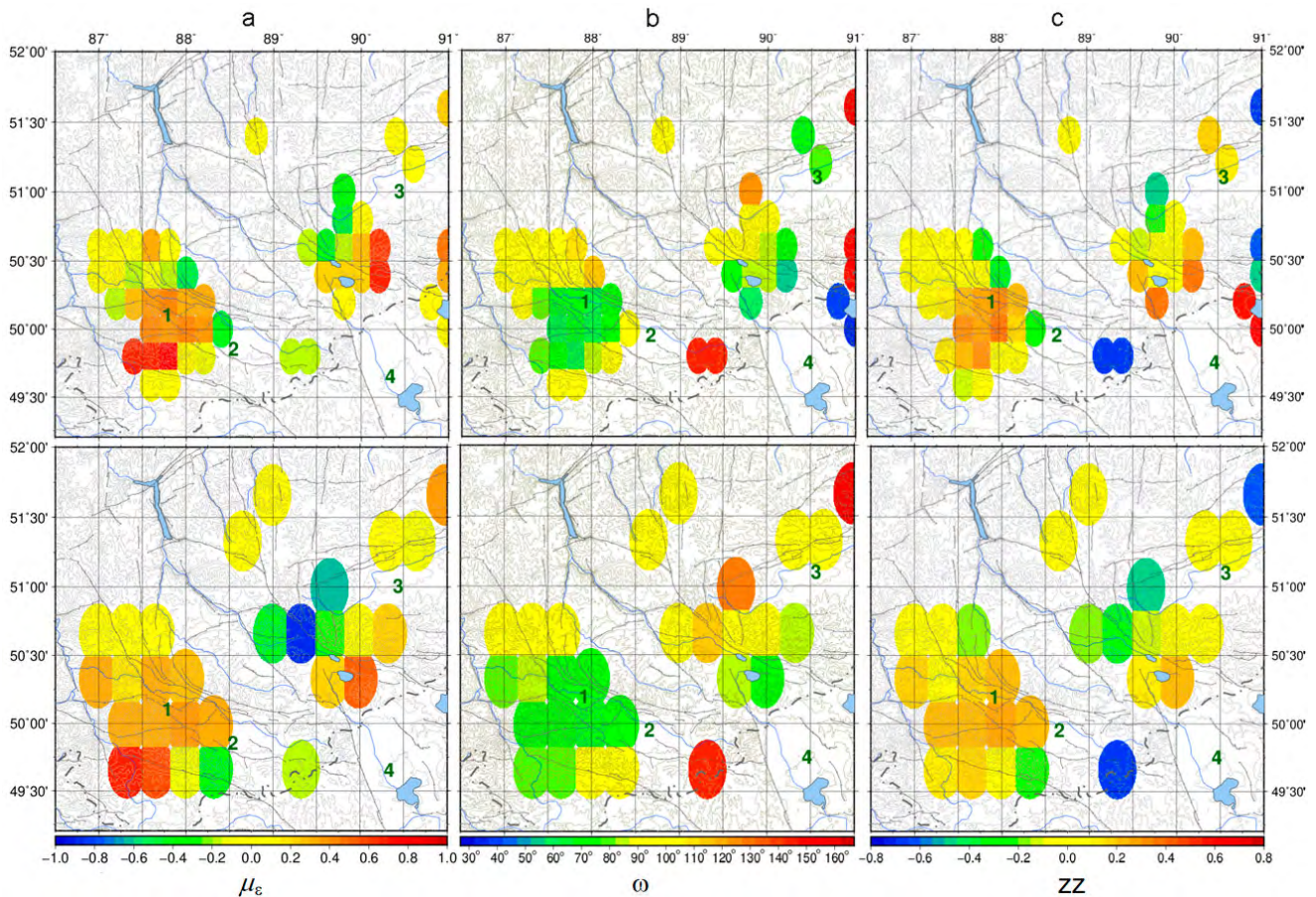


Рис. 7. Распределение параметров СТД. Верхняя панель – расчет выполнен по сетке с шагом 0.2° и $R = 0.25^\circ$; нижняя – с шагом 0.33° и $R = 0.35^\circ$.

(а) коэффициент Лодэ–Надаи μ_ϵ : ($0.6 < \mu_\epsilon \leq 1.0$, красный) – простое сжатие; ($0.2 < \mu_\epsilon \leq 0.6$, оранжевый) – преобладание простого сжатия; ($-0.2 < \mu_\epsilon \leq 0.2$, желтый) – простой сдвиг; ($-0.6 \leq \mu_\epsilon < -0.2$, зеленый) – преобладание простого растяжения; ($-1.0 \leq \mu_\epsilon < -0.6$, синий) – простое растяжение.

(б) угол вида напряженного состояния ω : ($\omega = \pi/6$) – напряжение главного сжатия горизонтально, синий; ($\omega = 5\pi/6$) – растягивающее напряжение горизонтально, красный; ($\omega = \pi/2$) – оси максимального растяжения и сжатия лежат в горизонтальной плоскости, желтый, зеленый и розовый отражают промежуточное положение плоскости напряжения главного сжатия или растяжения.

(с) вертикальная компонента zz : ($0 < zz \leq 1$) – воздымание; ($-1 \leq zz < 0$) – опускание.

Впадины: 1 – Курайская, 2 – Чуйская, 3 – Тувинская, 4 – Котловина Больших озер.

Fig. 7. Distribution of STD parameters. Upper panel is developed on a grid with a step of 0.2° and with $R = 0.25^\circ$; lower panel – with a step of 0.33° and with $R = 0.35^\circ$.

(a) Lode–Nadai coefficient μ_ϵ : ($0.6 < \mu_\epsilon \leq 1.0$, red) – simple compression; ($0.2 < \mu_\epsilon \leq 0.6$, orange) – predominance of simple compression; ($-0.2 < \mu_\epsilon \leq 0.2$, yellow) – simple shift; ($-0.6 \leq \mu_\epsilon < -0.2$, green) – predominance of simple tension; ($-1.0 \leq \mu_\epsilon < -0.6$, blue) – simple tension.

(b) the angle of kind of the stressed state ω : ($\omega \leq \pi/6$) – horizontal main compression stress, blue; ($\omega \geq 5\pi/6$) – horizontal tensile stress, red; ($\omega = \pi/2$) – axes of maximum tension and compression lie in the horizontal plane, yellow, green and pink display the intermediate position of the stress plane of the main compression or tension.

(c) the vertical component zz : ($0 < zz \leq 1$) – uplift; ($-1 \leq zz < 0$) – lowering.

Depressions: 1 – Kuraiskaya, 2 – Chuiskaya, 3 – Tuvinskaya, 4 – Kotlovina Bol'shikh Ozer.

Хребет Академика Обручева, южная часть Восточных Саян и Южного Прибайкалья

Алтае-Саянская горная область на востоке соприкасается со структурами Байкальской рифтовой зоны [39]. Эти два региона характеризуются разным геодинамическим

режимом, что отражается на динамике сейсмического процесса. В Байкальской рифтовой зоне землетрясения большей частью происходят внутри впадин. Механизм формирования растягивающих напряжений внутри рифтовых впадин определяется во многом состоянием мантийного вещества под рифтовыми зонами

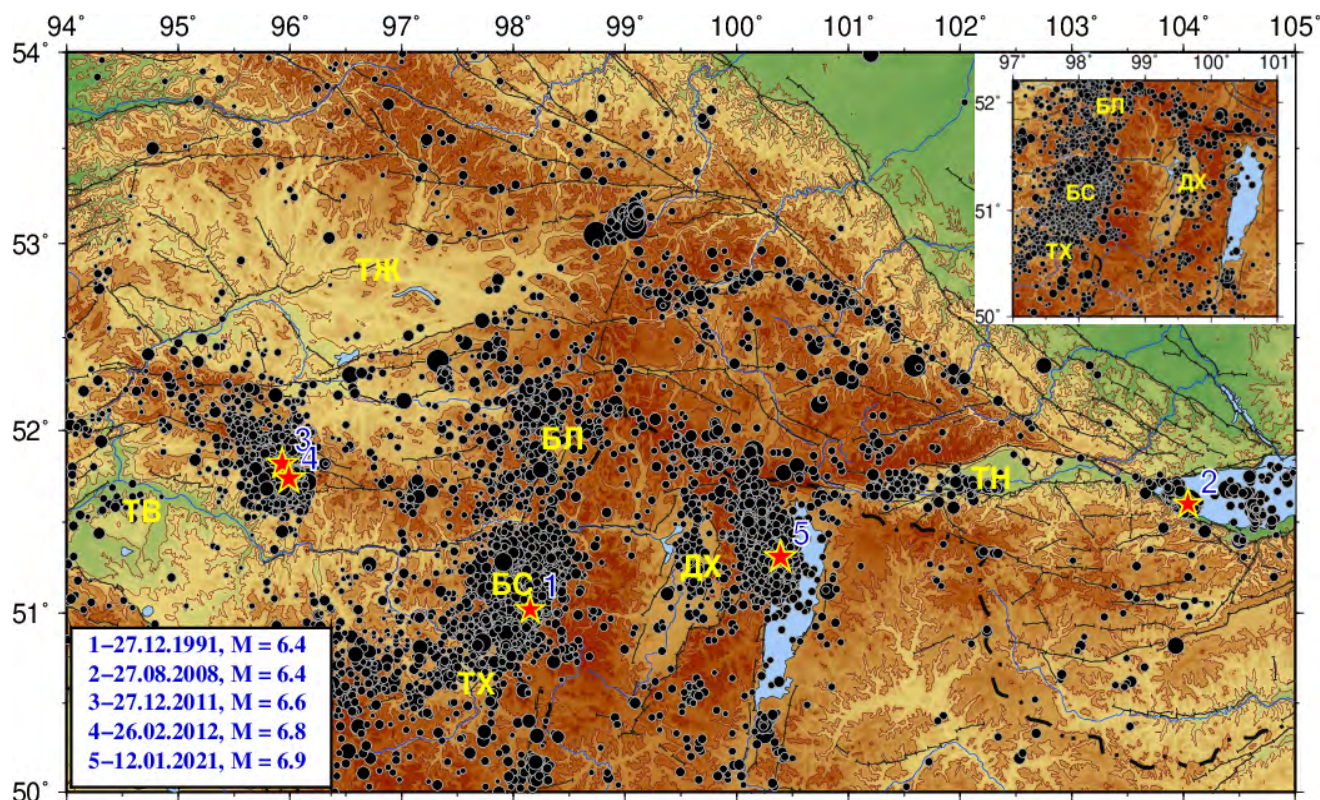


Рис. 8. Эпицентры землетрясений из каталога землетрясений (1997–2021 гг.). Звездочками отмечены эпицентры землетрясений с $M \geq 6$. Впадины: ТЖ – Тоджинская, ТВ – Тувинская, ДХ – Дархатская, ТН – Тункинская, ТХ – Терехольская, БС – Бусингольская, БЛ – Белинская.

Fig. 8. Earthquake epicenters from the catalog of earthquakes (1997–2021). Asterisks show the epicenters of earthquakes with $M \geq 6$. Depressions: ТЖ – Todzhinskaya, ТВ – Tuvinskaya, ДХ – Darkhatskaya, ТН – Tunkinskaya, ТХ – Terekholskaya, БС – Busingolskaya, БЛ – Belinskaya.

[31, 39]. Граница, разделяющая области с разной динамикой сейсмического процесса, проходит вдоль системы, состоящей из трех впадин – Бусингольской, Дархатской и впадины оз. Хубсугул. Бусингольская впадина является пограничной структурой между крупными регионами с различными типами источников сейсмической энергии [39].

На рис. 8 представлены эпицентры землетрясений из каталога землетрясений ЕГС РАН (1997–2021 гг.). Зоны сейсмической активности находятся на хр. Академика Обручева, в области, включающей систему из трех впадин – Терехольской, Бусингольской и Белинской, и в Южном Прибайкалье. Цепочка землетрясений отмечается вдоль Главного Саянского разлома, в Дархатской и Тункинской впадинах.

Наибольшей активностью в рассматриваемом регионе характеризуется зона Восточно-Тувинского нагорья [31], расположен-

ная на крайнем востоке Тувы. Она тяготеет к Белино-Бусингольской межгорной впадине, примыкающей к юго-западному флангу Байкальской рифтовой системы. Сейсмическая активность A_{10}^* , по данным [31], в южной части этой зоны достигает максимальных в Алтае-Саянской области значений, равных 0.4. К землетрясениям этой территории с $M \geq 6$ относятся Култукское, Тувинские землетрясения и Хубсугольское. На карте также показан эпицентр Бусингольского землетрясения 27 декабря 1991 г. (по данным <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>), которое не включено в используемый каталог. Перечисленные зоны сейсмической активности связаны большей частью с афтершоковой деятельностью этих землетрясений.

Бусингольское землетрясение с $M_s = 6.5$ [43] произошло 27 декабря 1991 г. к востоку от одноименной впадины, в Шишхидском

* Число слабых землетрясений энергетического класса $K = 10$ в год на площади 10^3 км².

нагорье. Афтершоковый процесс приурочен к разлому, разделяющему блоки горного обрамления и под острым углом примыкающему к Бусингольской впадине. Это оперяющий разлом для Бусингольского разлома. Землетрясение привело к существенному изменению режима всей Белино-Бусингольской зоны. Главной особенностью сейсмической активизации, вызванной Бусингольским землетрясением, является ее пульсирующий характер по всей длине Бусингольской впадины, чего не наблюдалось за инструментальный период для других землетрясений такого же класса [44]. Сейсмическая активность продолжается. Сейсмичность впадины то ослабевает, то усиливается. Можно выделить около десятка циклов рассматриваемой активизации. Циклы активизации в 2004–2005 гг. в этой зоне по энергии оказались интенсивнее, чем активизации нескольких предыдущих лет. Такая активизация вряд ли может быть отнесена к афтершоковому процессу крупного землетрясения [44].

27 августа 2008 г. в районе юго-западного замыкания оз. Байкал произошло *Култукское землетрясение* с $M_w = 6.3$, которое стало весьма заметным и важным событием в сейсмической жизни Южного Прибайкалья. Как отмечено в [40], за более чем полувековой период инструментальных наблюдений во всей акватории озера кроме указанного события было зарегистрировано всего два землетрясения с $M \geq 6.0$: Среднебайкальское 29.08.1959 с $M = 6.8$, $I_0 = 9$ [41] и Южнобайкальское 25.02.1999 с $M_w = 6.0$, $I_0 = 8$. С момента главного толчка до конца года было зарегистрировано около 1800 афтершоков с $K_r \geq 4$ [42]. Следует отметить, что Култукское землетрясение не предварялось форшоками.

Первое Тувинское землетрясение произошло 27 декабря 2011 г., примерно в 100 км восточнее г. Кызыл. После непродолжительного афтершокового процесса, два месяца спустя – 26 февраля 2012 г., практически в той же эпицентральной зоне произошло *второе* землетрясение [45, 46]. Тувинские землетрясения приурочены к осевой части горной цепи, получившей название хребет Академика Обручева. За полвека инструментальных сейсмологи-

ческих наблюдений (с 1963 г.) хр. Академика Обручева в сейсмическом отношении проявил себя умеренно активным. В 1960–1980-х годах здесь неоднократно происходили землетрясения с умеренными магнитудами ($M = 4–5.5$).

Хубсугульское землетрясение 12 января 2021 г. с магнитудой $M_L = 6.9$ [11] произошло на восточной границе Тувино-Монгольского блока. Оно вызвало интенсивный афтершоковый процесс (каталог ЕГС РАН за 2021 г. насчитывает более 6000 событий). В связи с этим землетрясением сейсмически активизирован участок границы вышеуказанного блока, в котором размещены параллельные рифтовые впадины Хубсугульская, Дархатская, а также Бусингольская, состоящая из трех линейно вытянутых впадин. До сих пор район Бусингольской впадины отличался высокой сейсмичностью, район Дархатской – умеренной и Хубсугульской – пониженной сейсмичностью (см. врезку на рис. 8, данные за 1997–2020 гг.).

Карты СТД для исследуемой территории построены по двум наборам параметров расчета (рис. 9). Рассмотрим направление осей укорочения и удлинения, а также режимы СТД. При движении с запада на восток направление осей укорочения меняется от северо-северо-восточного в западной части на северо-восточное в восточной. Также наблюдается уменьшение величины (длины) оси укорочения и увеличение оси удлинения. На рис. 9 а звездочками отмечены положения эпицентров землетрясений с $M > 6$, указанных в легенде к рис. 8. Для каждого из этих событий показаны фокальные механизмы очагов. Оси главных напряжений механизмов отражают региональное направление осей сжатия и растяжения. Направление осей укорочения и удлинения по данным СТД в областях расположения рассматриваемых землетрясений совпадает с направлением осей сжатия и растяжения представленных механизмов.

В области хр. Академика Обручева проявляется два режима деформации: сжатие и транспрессия. В районе Белинской впадины расположена зона с деформацией горизонтального сдвига; в области Бусингольской

* K_r – класс землетрясения по Раутиан.

впадины – режим транспрессии; в районе Терехольской впадины – режим косого сдвига (oblique), который стоит обособленно по классификации режимов STD [47], а южнее, на горе Сангилен, – режим транспрессии. Для

северной части территории оз. Хубсугул характерен режим транстенсии (район очаговой области Хубсугульского землетрясения, 2021 г.). В западной части Тункинской впадины также наблюдается режим транстенсии, восточнее

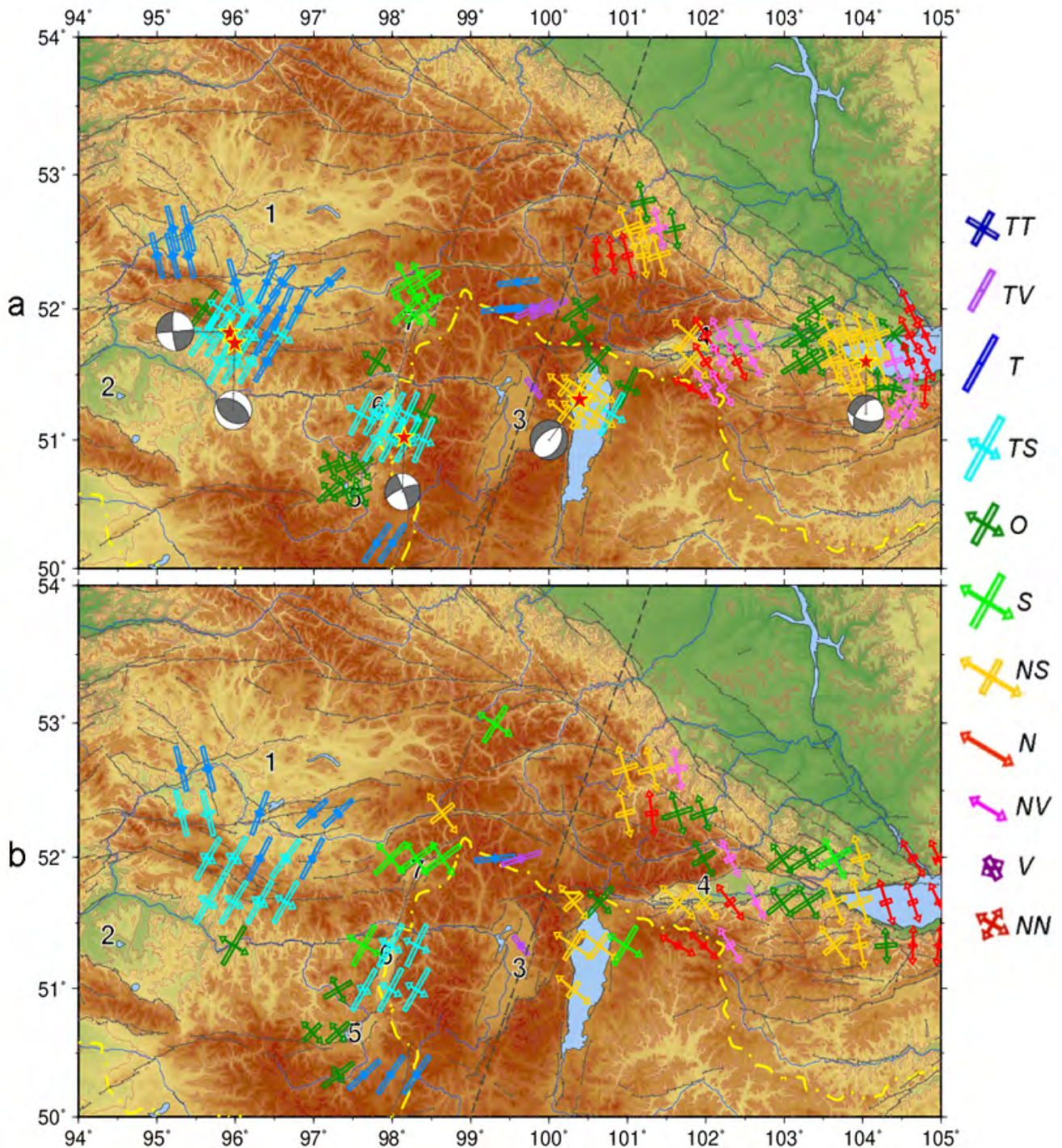


Рис. 9. Карта STD: (а) – расчет выполнен по узловым точкам, расположенным по сетке с шагом 0.2° и радиусом круговой области $R = 0.25^\circ$; (б) – по сетке с шагом 0.33° и радиусом $R = 0.35^\circ$. Впадины: 1 – Тоджинская, 2 – Тувинская, 3 – Дархатская, 4 – Тункинская, 5 – Терехольская, 6 – Бусингольская, 7 – Белинская. Обозначения режимов STD см. на рис. 1 б.

Fig. 9. STD map: (a) – computed by nodal points located along the grid with a step of 0.2° and a radius of the circular area $R = 0.25^\circ$; (b) – on a grid with a step of 0.33° and radius $R = 0.35^\circ$. Depressions: 1 – Todzhinskaya, 2 – Tuvinskaya, 3 – Darkhatskaya, 4 – Tunkinskaya, 5 – Terekholskaya, 6 – Busingolskaya, 7 – Belinskaya. STD modes notations are shown in the Fig. 1 b.

сменяемый режимом растяжения; в центральной части – режим от вертикального сдвига к растяжению и в восточной – режим косого сдвига. В южной части Южного Прибайкалья с запада на восток режим трансенсии сменя-

ется переходным режимом от вертикального сдвига к растяжению и далее переходит в режим растяжения.

На картах СТД (рис. 9 и 10) штриховая линия разделяет области с проявлением разных

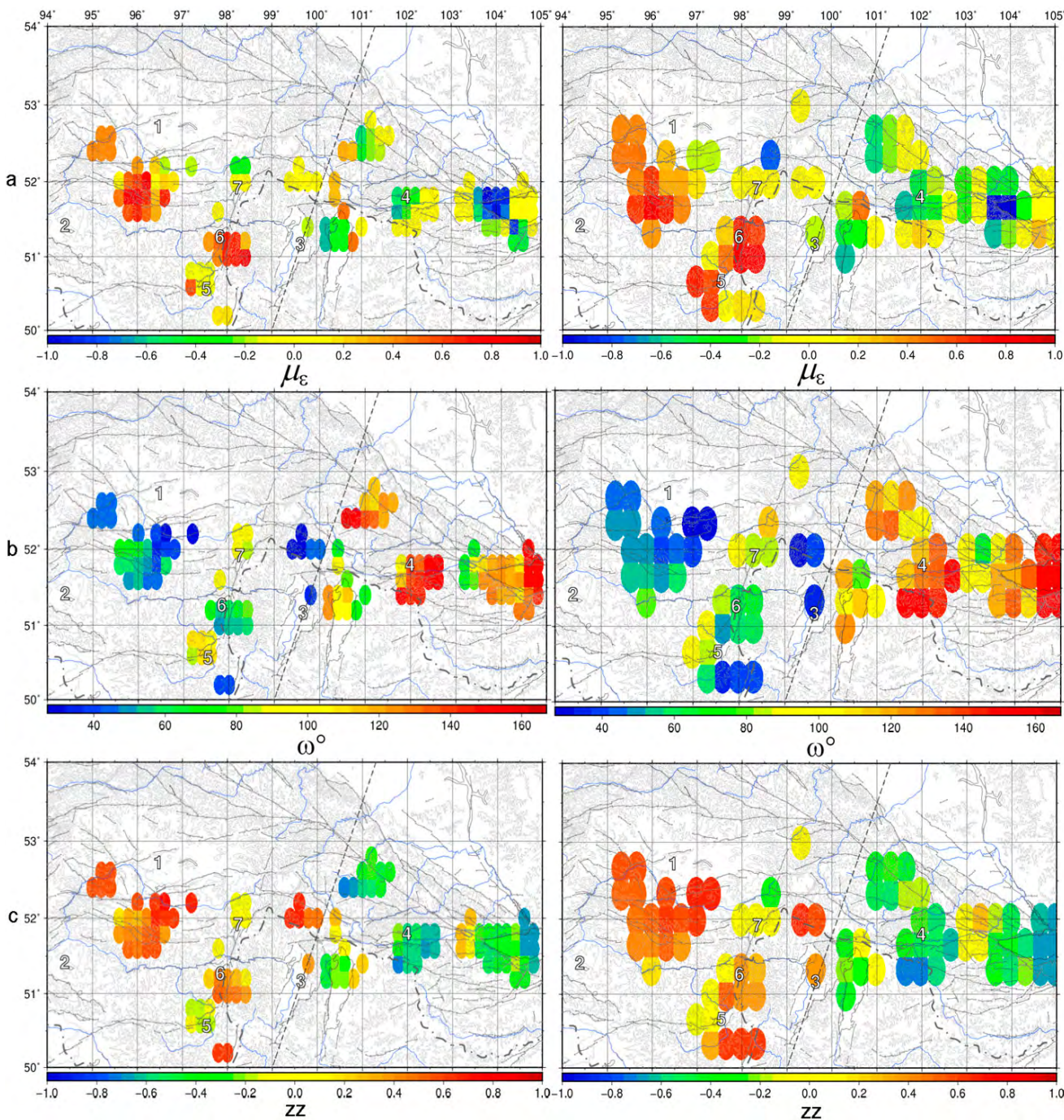


Рис. 10. Распределение параметров СТД, рассчитано: слева – по сетке 0.2° с $R = 0.25^\circ$, справа – по сетке 0.33° с $R = 0.35^\circ$. (а) – Лоде–Надаи μ_ϵ , (б) – угол вида напряженного состояния ω , (с) – вертикальная компонента. Впадины: 1 – Тоджинская, 2 – Тувинская, 3 – Дархатская, 4 – Тункинская, 5 – Терехольская, 6 – Бусингольская, 7 – Белинская. Связь значений параметров μ_ϵ , ω и zz с режимами СТД см. на рис. 7.

Fig. 10. Distribution of STD parameters, determined: on a grid 0.2° , with $R = 0.25^\circ$ – on the left; and that on a grid 0.33° , with $R = 0.35^\circ$ – on the right. (a) – Lode–Nadai μ_ϵ , (b) – the angle of kind of the stressed state ω , (c) – vertical component. Depressions: 1 – Todzhinskaya, 2 – Tuvinskaya, 3 – Darkhatskaya, 4 – Tunkinskaya, 5 – Terekholskaya, 6 – Busingolskaya, 7 – Belinskaya. The relationship of the values of the parameters μ_ϵ , ω and zz with the STD modes, see in Fig. 7.

режимов деформации: западнее от линии – режим сжатия, транспрессии и горизонтального сдвига; восточнее – растяжения, транстенсии и переходный режим от вертикального сдвига к растяжению и от горизонтального сдвига к растяжению. То есть западнее проявляются режимы, включающие в себя в той или иной степени компоненту сжатия, а восточнее – компоненту растяжения. Разные режимы деформации, а также различия в направлении и длине осей укорочения и удлинения относительно штриховой линии указывают на разный геодинамический режим в разделенных линией областях.

Рассмотрим поведение других параметров СТД в рассматриваемой области. На рис. 10 представлено распределение коэффициента Лоде–Надаи, угла вида напряженного состояния и вертикальной компоненты усредненных тензоров деформации.

Согласно значениям коэффициента Лоде–Надаи μ_e (который отражает деформацию в целом) (рис. 10 а), для западной части (относительно штриховой линии) характерен режим преобладания простого сжатия, а для восточной – режим преобладания простого растяжения и простого сдвига.

На большей части территории западнее линии разделения значение угла вида напряженного состояния ω не превышает 40° (рис. 10 б), что указывает на повышенные напряжения сжатия в горизонтальной плоскости, а в восточной части значение угла ω превышает 110° , что указывает на горизонтально растягивающее напряжение.

Согласно распределению вертикальной компоненты усредненных тензоров деформации (рис. 10 с), западная часть испытывает воздымание, а восточная – опускание.

Штриховая линия на рис. 9 и 10 четко разделяет области с резко различными значениями рассматриваемых параметров СТД и указывает на разный механизм формирования напряжений для этих областей. Это различие отмечено во многих работах [31, 39 и др.]. По расчетам СТД граница, разделяющая области с разным режимом деформации, проведена вдоль Дархатской впадины (см. рис. 9). В работе [39] в качестве структуры, разграничивающей регионы с различными типами ис-

точников сейсмической энергии, обозначена Бусингольская впадина. Отсутствие данных по СТД между Бусингольской и Дархатской впадиной не позволяет нам провести более точную границу между этими регионами.

Карты распределения различных параметров СТД для двух рассматриваемых областей показывают различия в их геодинамических обстановках. Для территории Горного Алтая (области Чуйского землетрясения) наблюдается незначительный разброс в исследуемых параметрах СТД и стабильное субмеридиальное направление оси укорочения (см. рис. 5) и оси сжатия (см. рис. 3 а). Вторая территория характеризуется различным напряженно-деформированным состоянием в западной и восточной областях.

Неоднородность поля напряжений, полученного на основе геолого-структурных и морфоструктурных данных, отмечается в работе [24]. Авторы отмечают, что наблюдаемая неоднородность обусловлена наличием различных источников тектонических сил или сочетанием этих воздействий на исследуемой территории.

Наши результаты согласуются с данными и других исследователей. В частности, при рассмотрении фокальных механизмов очагов и сейсмотектонических деформаций в работе [31] отмечено, что «в целом Алтае-Саянская область находится в условиях фонового горизонтального сжатия, но, несмотря на это, на территории встречаются блоки "рифтового" или грабенового типа с близгоризонтальными максимальными удлинениями и близвертикальными максимальными укорочениями» [31, с. 77]. В этой же работе авторами выявлены два крупных блока «орогенного» типа с близвертикальным удлинением и близгоризонтальным укорочением. Один из блоков расположен в пределах хр. Академика Обручева с прилегающей к нему с юга территорией. Исходя из ориентации осей удлинения и укорочения (см. рис. 9), в пределах хр. Академика Обручева нами также отмечено близгоризонтальное максимальное укорочение и близвертикальное максимальное удлинение. В районе же восточнее штриховой линии, где сейсмичность обусловлена рифтогенезом, наблюдается противоположная картина – близгоризонтальное удлинение и близвертикальное укорочение.

Реконструкции природных напряжений земной коры Алтае-Саянской горной области, выполненные с помощью МКА на основе данных о механизмах очагов более 300 землетрясений [20], также показали существенную неоднородность напряженного состояния, выражающуюся в изменчивости простирания и погружения главных осей тензора напряжений, определяющих изменение геодинамического режима земной коры. Таким образом, результаты, полученные в нашей работе, согласуются с данными других исследователей.

Главным результатом настоящей работы является построение карт СТД для Алтае-Саянской горной области [10] и отдельных ее регионов, а также Южного Прибайкалья с использованием классификации режимов СТД, предложенной С.Л. Юнга. Карты позволяют представить напряженно-деформированное состояние среды в целом (а не по отдельным компонентам тензора деформации), что может быть удобно для использования специалистами других областей – геодезии, геофизики и геологии.

Заключение

Методом расчета сейсмоструктурных деформаций изучены параметры напряженно-деформированного состояния Алтае-Саянской горной области. Основные результаты по исследованию этой территории представлены в первой части статьи. Плотность представления данных по фокальным механизмам позволила во второй части статьи получить более подробные карты СТД для территории Горного Алтая (очаговая область Чуйского землетрясения) и территории, которая включает в себя хр. Академика Обручева, южную часть Восточных Саян и Южное Прибайкалье. Определены направления осей укорочения, удлинения и режимы деформации для рассматриваемых территорий. Наряду с картами СТД построены карты распределения коэффициента Лоде–Надаи, угла вида напряженного состояния и вертикальной компоненты.

Очаговая область Чуйского землетрясения является зоной деформации горизонтального сдвига, через нее проходит полоса с режимом транспрессии (Чаган-Узунский блок). Оси укорочения на этой территории имеют субмеридиональное направление. Согласно значению

коэффициента Лоде–Надаи, очаговую область Чуйского землетрясения характеризует сдвиговый режим, через нее проходит зона, в которой преобладает режим простого сжатия. Значения угла вида напряженного состояния ω на территории Чаган-Узунского блока близки к 60° , что свидетельствует о повышенных напряжениях в горизонтальной плоскости, а положительное значение вертикальной компоненты в этой области указывает на воздымание этой территории.

Область, которая включает в себя хр. Академика Обручева, южную часть Восточных Саян и Южное Прибайкалье, по режиму деформации делится на две части. Граница проходит вдоль Дархатской впадины: западнее от нее проявляются режимы, включающие в себя в той или иной степени компоненту сжатия (сжатие, транспрессия и горизонтальный сдвиг), а восточнее – компоненту растяжения (растяжение, транстенсия и переходный режим от вертикального сдвига к растяжению), что указывает на разный механизм формирования напряжений в этих областях. Значения вертикальной компоненты усредненных тензоров деформации свидетельствуют, что западнее Дархатской впадины территория испытывает воздымание, а восточнее – опускание.

Настоящая работа позволила оценить сейсмоструктурные деформации в областях с хорошим покрытием данными по фокальным механизмам и указала на дефицит подобных данных для получения более подробной деформационной модели земной коры Алтае-Саянской горной области в целом и необходимость накопления сведений об очаговых параметрах землетрясений, происходящих на этой территории.

Список литературы

1. Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2003 год. **2006**. Филина А.Г., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В. (отв. сост.), Денисенко Г.А., Кузнецова Н.В., Манушина О.А., Подлипская Л.А., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В., Шаталова А.О. *Землетрясения России в 2003 году*. Обнинск: ГС РАН. (См. Приложение к наст. сб. на CD). (In Russ.). URL: http://www.gsras.ru/zr/uploads/files/2003/2003-ER_p055-064.pdf
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Фатеев А.В., Филина А.Г. **2009**. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 года

- с $M_s = 7.3$, $K_r = 17$ (Горный Алтай). *Землетрясения Северной Евразии в 2003 году*, 12. Обнинск: ГС РАН, с. 326–343.
3. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Мараханов А.В., Ушанова Е.А. **2007**. Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения 2003 г. *Геотектоника*, 2: 3–23. EDN: HZRTBZ
 4. Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Фатеев А.В., Колесников Ю.И., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., Ярыгина М.А. **2004**. Чуйское землетрясение и его афтершоки. *Доклады Академии наук*, 395(4): 534–536. EDN: OQQLZT
 5. Семенцов Б.Г. **2005**. Алтайское землетрясение сентября–октября 2003 года. *Природные ресурсы Горного Алтая*, 2: 32–47. URL: <http://altay-geojournals.ru/wp-content/uploads/2015/02/4-5.pdf>
 6. Арефьев С.С., Погребченко В.В., Аптекман Ж.Я., Быкова В.В., Матвеев И.В., Михин А.Г., Молотков С.Г., Плетнев К.Г. **2004**. Предварительные результаты сейсмологических наблюдений в эпицентральной зоне Алтайского землетрясения. Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003 г. В кн.: *Материалы предварительного изучения*. М.: ИФЗ РАН, с. 61–67.
 7. Ашурков В.А. **2016**. Причина и следствия Алтайского (Чуйского) землетрясения 27.09.2003 г. *Проблема прогноза и оценки сейсмической опасности крупных городов*, 20(1–2): 58–86. URL: <http://altay-geojournals.ru/wp-content/uploads/2022/02/8-20.pdf>
 8. Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В. **2009**. Алтай и Саяны. *Землетрясения Северной Евразии*, 12. Обнинск: ГС РАН, с. 139–148.
 9. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г., Дураченко А.А., Гладышев Е.А., Ершов Р.А. **2021**. Алтай и Саяны. *Землетрясения России в 2021 году*. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, с. 38–45.
 10. Сычева Н.А. **2023**. Исследование сейсмотектонических деформаций земной коры Алтае-Саянской горной области. Ч. I. *Геосистемы переходных зон*, 7(3): 223–242. <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.3.223-242>
 11. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Радзиминович Я.Б., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Гладышев Е.А., Арапов В.В., Артемова А.И., Подкорытова В.Г. **2022**. Хубсугульское землетрясение, 12.01.2021 г. $M_w = 6.7$, $M_L = 6.9$, и афтершоки начального периода. *Физика Земли*, 1: 67–82. <https://doi.org/10.31857/S0002333722010021>; EDN: PADCYH
 12. Мишарина Л.А. **1972**. Напряжения в очагах землетрясений Монголо-Байкальской зоны. В кн.: *Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений*. М.: Наука, с. 161–171.
 13. Жалковский Н.Д., Кучай О.А., Мучная В.И. **1995**. Сейсмичность и некоторые характеристики напряженного состояния земной коры Алтае-Саянской области. *Геология и геофизика*, 36(10): 20–30.
 14. Кузнецова К.И., Лукина Н.В., Кучай О.А. **1999**. Деформации земной коры и верхней мантии: проблема взаимообусловленности (Алтае-Саянская область). *Вулканология и сейсмология*, 4/5: 41–49.
 15. Гольдин С.В., Кучай О.А. **2007**. Сейсмотектонические деформации Алтае-Саянской сейсмоактивной области и элементы блочно-коллизивной геодинамики. *Геология и геофизика*, 48(7): 692–723. EDN: IANKGN
 16. Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А. **2001**. Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне. *Геология и геофизика*, 42(10): 1484–1496.
 17. Радзиминович Н.А., Мельникова В.И., Саньков В.А., Леви К.Г. **2006**. Сейсмичность и сейсмотектонические деформации земной коры Южно-Байкальской впадины. *Физика Земли*, 11: 44–62. EDN: OPDBIN
 18. Радзиминович Н.А., Баяр Г., Мирошниченко А.И., Дэмбэрэл С., Ульзибат М., Ганзориг Д., Лухнев А.В. **2016**. Механизмы очагов землетрясений и поле напряжений Монголии и прилегающих территорий. *Геодинамика и тектонофизика*, 7(1): 23–38. <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-1-0195>
 19. Радзиминович Н.А. **2021**. Механизмы очагов землетрясений юга Байкальского региона и Северной Монголии. *Геодинамика и тектонофизика*, 12(4): 902–908. doi:10.5800/GT-2021-12-4-0562
 20. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. **2013**. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саянской горной области. *Геология и геофизика*, 54(2): 271–291.
 21. Гольдин С.В., Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г. **2005**. Поля смещений земной поверхности в зоне Чуйского землетрясения, Горный Алтай. *Доклады Академии наук*, 405(6): 804–809. EDN: HSKBVH
 22. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Кале Э., Дучков А.Д., Запреева Е.А., Казанцев С.А., Русбек Ф., Брюникс К. **2006**. Поля и модели смещений земной поверхности Горного Алтая. *Геология и геофизика*, 47(8): 923–937. EDN: NDLMOV
 23. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Бойко Е.В., Грибанова Е.И., Семибаламут В.М., Тимофеев А.В., Ярошевич А.В. **2012**. Скорости деформаций и смещения в эпоху сильного землетрясения на Южном Байкале. *Геология и геофизика*, 53(8): 1040–1061. EDN: PBVNQD
 24. Саньков В.А., Парфеевец А.В. **2020**. Кайнозойское напряженное состояние земной коры Монголии по геолого-структурным данным (обзор). *Геодинамика и тектонофизика*, 11(4): 722–742. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0503>

25. Сычева Н.А., Мансуров А.Н. **2017**. Сравнение оценок деформаций земной коры Бишкекского геодинамического полигона на основе сейсмологических и GPS-данных. *Геодинамика и тектонофизика*, 8(4): 809–825. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-4-0318>
26. Сычева Н.А., Мансуров А.Н. **2020**. Сейсмотектонические деформации литосферы Памира и прилегающих территорий. *Геодинамика и тектонофизика*, 11(4): 785–805. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0507>
27. Сычева Н.А. **2021**. Сейсмотектонические деформации земной коры Центрального и Западного Тянь-Шаня. *Вулканология и сейсмология*, 6: 1–23. EDN: WGMXBF
28. Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Кузиков С.И. **2020**. *Вычислительные технологии в сейсмологических исследованиях (на примере KNET, Северный Тянь-Шань)*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 358 с.; Прил.: 1 электрон. опт. диск (CD). doi:10.30730/978-5-6040621-6-6.2020-2
29. Ризниченко Ю.В. **1985**. *Проблемы сейсмологии: Избранные труды*. М.: Наука, 408 с.
30. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. **2017**. База данных активных разломов Евразии. *Геодинамика и тектонофизика*, 8(4): 711–736.
31. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. **2002**. *Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене*. М.: ОИФЗ РАН, 130 с.
32. Лескова Е.В., Еманов А.А. **2006**. Характер деформаций в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения (27 сентября 2003 г., $K = 17$, Горный Алтай) по данным анализа фокальных механизмов афтершоков. *Физическая мезомеханика*, 9(1): 51–55. EDN: IJGIRL
33. Новиков И.С. **2004**. *Морфотектоника Алтая*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, фил. «Гео», 313 с. URL: http://neotec.ginras.ru/comrus/_novikov-i-s-2004-morfotektonika-altaya-glava-7-kaynozoyskaya-tektonika-altaya-i-ee-geomorfologicheskie-proyavleniya.pdf
34. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Иогансон Л.И., Рейснер Г.И., Баясгалан А., Кочетков В.М., Курушин Р.А. **1995**. Опыт выделения и прослеживания сейсмогенерирующих зон методами геолого-тектонического анализа на территории Западной Монголии и Зайсано-Алтайской складчатой области. *Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии*, 2–3. М.: ОИФЗ РАН, с. 132–152.
35. Денисенко Г.А., Лескова Е.В., Манушина О.А., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелева С.С., Шевкунова Е.В. **2018**. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Чуйско-Курайская зона Горного Алтая в 2015–2016 гг. ($M_L \geq 2.5$). *Землетрясения России в 2016 году*. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, с. 180–181. URL: http://www.gsras.ru/zr/uploads/files/2016/2016-ER_p180-181.pdf
36. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В. **2020**. Наблюдения временными сетями: Чуйско-Курайская зона Горного Алтая. *Землетрясения России в 2018 году*. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, с. 117–120.
37. Лескова Е.В., Еманов А.А. **2013**. Иерархические свойства поля тектонических напряжений в очаговой области Чуйского землетрясения 2003 года. *Геология и геофизика*. 54(1): 113–123.
38. Ребецкий Ю.Л. **2007**. *Тектонические напряжения и прочность горных массивов*. М.: Академкнига, 406 с.
39. Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Фатеев А.В., Ярыгина М.А. **2004**. Алтай и Саяны. *Землетрясения Северной Евразии*, 7(1998 г.). Обнинск: ГС РАН, с. 116–125.
40. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Середкина А.И. **2014**. Култукское землетрясение 27 августа 2008 г. с $M_w=6.3$, $I_0=8-9$ (Южный Байкал). *Землетрясения Северной Евразии*, 17 (2008 г.). Обнинск: ГС РАН, с. 386–407. URL: http://www.gsras.ru/zse/uploads/files/eq_ne_2008/2008-Strong_and_sensible_Eathqueakes-Kultuk-386-407.pdf
41. Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.). **1977**. Прибайкалье (2000 до н.э. – 500 н.э.) – 1974 г.; $M \geq 5.0$; $I_0 \geq 6$. В кн.: *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* М.: Наука, с. 315–338. URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-novyy-katalog-silnyh-zemletryaseny-na-territorii-sssr-s-drevneyshih-vremen-.pdf>
42. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.). **2014**. Каталог Култукской последовательности землетрясений с $K_p > 6.5$ ($N = 414$) в 2008 г., с сильным землетрясением 27 августа 2008 г. с $M_w = 6.3$, $I_0 = 8-9$. *Землетрясения Северной Евразии в 2008 году*, 17. Обнинск: ГС РАН. (Приложение к Ежегоднику № 17 (2008 г.) на CD). URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-17.html>
43. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Соловьев В.М., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А., Корабельщиков Д.Г., Подкорытова В.Г., Янкайтис В.В., Елагин С.А., Сережников Н.А., Дураченко А.В., Артемова А.И. **2006**. Сейсмологические исследования на территории Алтае-Саянской горной области. *Российский сейсмологический журнал*, 3(2): 20–51. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.2.02>
44. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Рудаков А.Д. **2006**. Общее и индивидуальное в развитии афтершоковых процессов крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области. *Физическая мезомеханика*, 9(1): 33–43. EDN: IJGIQR
45. Овсюченко А.Н., Бутанаев Ю.В. **2017**. Сейсмическая история Алтае-Саянского региона и место в ней Тувинских землетрясений 2011–2012 гг.

Новые исследования Тувы, 1: 162–178. (In Russ.). EDN: XXWZDN; <https://doi.org/10.25178/nit.2017.1.11>

46. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Селезнев В.С., Фатеев А.В. **2014**. Тувинские землетрясения 27.12.2011 г., ML = 6.7 и 26.02.2012 г., ML = 6.8 и их афтершоки. *Доклады Академии наук*, 456(2): 223–226.
 47. Юнга С.Л. **1997**. О классификации тензоров сейсмических моментов на основе их изометрического отображения на сферу. *Доклады Академии наук*, 352(2): 253–255.
- ## References
1. [Earthquake catalogue of the Altai and the Sayany for 2003]. **2006**. Authors: Filina A.G., Podkorytova V.G., Leskova E.V. (compilers), Denisenko G.A., Kuznetsova N.V., Manushina O.A., Podlipskaya L.A., Sheveleva S.S., Shevkunova E.V., Shatalova A.O. [*The Earthquakes of Russia in 2003*]. Obninsk: GS RAS. (See the Appendix of present digest of articles on CD). (In Russ.). URL: http://www.gsras.ru/zr/uploads/files/2003/2003-ER_p055-064.pdf
 2. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Kolesnikov Yu.I., Fateev A.V., Filina A.G. **2009**. [Chuya earthquake 27 September 2003 with Ms = 7.3, Kr = 17 (Gorny Altai)]. [*The earthquakes of the North Eurasia in 2003*], 12. Obninsk: GS RAS, p. 326–343. (In Russ.).
 3. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Marakhanov A.V., Ushanova E.A. **2007**. Tectonic setting and geological manifestations of the 2003 Altai earthquake. *Geotectonics*, 41(2): 87–104.
 4. Gol'din S.V., Seleznev V.S., Emanov A.F., Filina A.G., Emanov A.A., Novikov I.S., Vysotskii E.M., Fateev A.V., Kolesnikov Yu.I., Podkorytova V.G., Leskova E.V., Yarygina M.A. **2004**. The Chuya earthquake and its aftershocks. *Doklady Earth Sciences*, 395(3): 394–396.
 5. Sementsov B.G. **2005**. [Altai earthquake in September–October]. **2003**. *Prirodnye resursy Gornogo Altaya* = [*Natural resources of Gorny Altai*], 2: 32–47. (In Russ.). URL: <http://altay-geojournals.ru/wp-content/uploads/2015/02/4-5.pdf>
 6. Arefyev S.S., Pogrebchenko V.V., Aptekman Zh.Ya., Bykova V.V., Matveev I.V., Mikhin A.G., Molotkov S.G., Pletnev K.G. **2004**. [Preliminary results of seismological observations in epicentral zone of Altai earthquake. Strong earthquake in the Altai in 27 September 2003]. In: [*The data of preliminary study*]. Moscow: IFZ RAN, p. 61–67. (In Russ.).
 7. Ashurkov V.A. **2016**. [The cause and consequences of Altai (Chuya) earthquake 27.09.2003]. *Problema prognoza i otsenki seismicheskoi opasnosti krupnykh gorodov* = [*The problem of forecast and estimation of seismic danger for large cities*], 20(1–2): 58–86. (In Russ.). URL: <http://altay-geojournals.ru/wp-content/uploads/2022/02/8-20.pdf>
 8. Emanov A.F., Filina A.G., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V. **2009**. [The Altai and Sayany]. [*The earthquakes of the North Eurasia*], 12. Obninsk: GS RAS, p. 139–148. (In Russ.).
 9. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Shevkunova E.V., Podkorytova V.G., Durachenko A.A., Gladyshev E.A., Ershov R.A. **2021**. [The Altai and Sayany]. *The earthquakes of Russia in 2021*. Obninsk: FRC UGS RAS, p. 38–45. (In Russ.).
 10. Sycheva N.A. **2023**. Study of seismotectonic deformations of the Earth's crust in the Altai-Sayan mountain region. Pt I. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 7(3): 223–242. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.3.223-242>
 11. Emanov A.F., Emanov A.A., Chechel'nitskii V.V., Shevkunova E.V., Radziminovich Ya.B., Fateev A.V., Kobeleva E.A., Gladyshev E.A., Arapov V.V., Artemova A.I., Podkorytova V.G. **2022**. The Khuvsgul earthquake of January 12, 2021 (Mw = 6.7, ML = 6.9) and early aftershocks. *Izv., Physics of the Solid Earth*, 58(1): 59–73. <https://doi.org/10.1134/s1069351322010025>
 12. Misharina L.A. **1972**. [Stresses in the earthquake focuses of Mongolia-Baikal zone]. In: [*The field of elastic stresses of the Earth and mechanism of earthquake focuses*]. Moscow: Nauka, p. 161–171.
 13. Zhalkovsky N.D., Kuchai O.A., Muchnaya V.I. **1995**. [Seismicity and certain characteristics of stress state of Earth crust of Altai-Sayany area]. *Geology and geophysics*, 36(10): 20–30. (In Russ.).
 14. Kuznetsova K.I., Lukina N.V., Kuchai O.A. **1999**. [Deformation of Earth crust and upper mantle: the problem of interdependence (Altai-Sayany area)]. *Volcanology and seismology*, 4/5: 41–49. (In Russ.).
 15. Gol'din S.V., Kuchai O.A. **2007**. Seismic strain in the Altai-Sayan active seismic area and elements of collisional geodynamics. *Russian Geology and Geophysics*, 48(7): 536–557.
 16. Goldin S.V., Dyad'kov P.G., Dashevskiy Yu.A. **2001**. The South Baikal geodynamic testing ground: Strategy of earthquake prediction. *Russian Geology and Geophysics*, 42(10): 1484–1496. (In Russ.).
 17. Radziminovitch N.A., Melnikova V.I., San'kov V.A., Levi K.G. **2006**. Seismicity and seismotectonic deformations of the crust in the Southern Baikal basin. *Izv., Physics of the Solid Earth*, 42(11): 904–920. <https://doi.org/10.1134/s1069351306110048>
 18. Radziminovich N.A., Bayar G., Miroshnichenko A.I., Demberel S., Ulziibat M., Ganzorig D., Lukhnev A.V. **2016**. Focal mechanisms of earthquakes and stress field of the crust in Mongolia and its surroundings. *Geodynamics & Tectonophysics*, 7(1): 23–38. <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-1-0195>
 19. Radziminovich N.A. **2021**. Focal mechanisms of earthquakes of Southern Baikal Region and Northern Mongolia. *Geodynamics & Tectonophysics*, 12(4): 902–908. doi:10.5800/GT-2021-12-4-0562

20. Rebetsky Yu.L., Kuchai O.A., Marinin A.V. **2013**. Stress state and deformations of the Earth's crust in the Altai-Sayany mountain region. *Russian Geology and Geophysics*, 54(2): 206–222. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.01.011>
21. Goldin S.V., Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G. **2005**. Fields of the Earth's surface displacement in the Chuya earthquake zone in Gornyi Altai. *Doklady Earth Sciences*, 405A(9): 1408–1413. EDN: LJKWIT
22. Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G., Kale E., Duchkov A.D., Zapreeva E.A., Kazantsev S.A., Rusbek F., Bryuniks K. **2006**. Displacement fields and models of current motion in Gorny Altai. *Russian Geology and Geophysics*, 47(8): 915–929. EDN: TQNFQZ
23. Timofeev V.Y., Ardyukov D.G., Boyko E.V., Timofeev A.V., Gribanova E.I., Semibalamut V.M., Yaroshovich A.V. **2012**. Strain and displacement rates during a large earthquake in the South Baikal region. *Russian Geology and Geophysics*, 53(8): 798–816. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.06.007>
24. Sankov V.A., Parfeevets A.V. **2020**. The cenozoic crustal stress state of Mongolia according to geological and structural data (review). *Geodynamics & Tectonophysics*, 11(4): 722–742. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0503>
25. Sycheva N.A., Mansurov A.N. **2017**. Comparison of crustal deformation rates estimated from seismic and GPS data on the Bishkek geodynamic polygon. *Geodynamics & Tectonophysics*, 8(4): 809–825. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/gt-2017-8-4-0318>
26. Sycheva N.A., Mansurov A.N. **2020**. Seismotectonic deformation of the lithosphere in the Pamir and adjacent territories. *Geodynamics & Tectonophysics*, 11(4): 785–805. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0507>
27. Sycheva N.A. **2021**. Crustal seismotectonic deformations in Central and Western Tien-Shan. *Journal of Volcanology and Seismology*, 15(6): 414–434. <https://doi.org/10.1134/s0742046321060105>
28. Sycheva N.A., Bogomolov L.M., Kuzikov S.I. **2020**. *Computational technologies in seismological research (on the example of KNET, Northern Tian Shan)*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG FEB RAS, 358 p.; Suppl.: 1 electronic optical disks (CD). (In Russ.). doi:10.30730/978-5-6040621-6-6.2020-2
29. Riznichenko Yu.V. **1985**. [Problems of seismology]. Moscow: Nauka, 408 p. (Izbrannye trudy [Selected works]). (In Russ.).
30. Bachmanov D.M., Kozhurin A.I., Trifonov V.G. **2017**. The active faults of Eurasia database. *Geodynamics & Tectonophysics*, 8(4): 711–736. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/gt-2017-8-4-0314>; EDN: ZWRGN
31. Rogozhin E.A., Platonova S.G. **2002**. [Focal zones of strong earthquakes in Gorny Altai in Holocene]. Moscow: OIFZ RAN, 130 p. (In Russ.).
32. Leskova E.V., Yemanov A.A. **2006**. Deformation pattern for the epicentral area of Chuya earthquake (September 27, 2003, $M = 17$, Gorny Altai) according to analysis data for aftershock focal mechanisms. *Physical mesomechanics*, 9(1): 51–55. (In Russ.). EDN: IJGIRL
33. Novikov I.S. **2004**. [Morphotectonics of Altai]. Novosibirsk: Pub. House SB RAS, GEO, 313 p. (In Russ.). URL: http://neotec.ginras.ru/comrus/_novikov-i-s-2004-morfotektonika-altaya-glava-7-kaynozoy-skaya-tektonika-altaya-i-ee-geomorfologicheskije-proyavleniya.pdf
34. Rogozhin E.A., Bogachkin B.M., Ioganson L.I., Reisner G.I., Bayasgalan A., Kochetkov V.M., Kurushin R.A. **1995**. [The experience of separating and tracing of seismogenerating zones by methods of geologo-tectonic analysis on the territory of Western Mongolia and Zaisan-Altai folded area]. [Seismicity and seismic zoning of the North Eurasia], 2–3. Moscow: OIFZ RAN, p. 132–152. (In Russ.).
35. Denisenko G.A., Leskova E.V., Manushina O.A., Podkorytova V.G., Podlipskaya L.A., Shatalova A.O., Sheveleva S.S., Shevkunova E.V. **2018**. [Earthquake catalogues on different regions of Russia. Chuya – Kuray zone of Gorny Altai in 2015–2016. ($M \geq 2.5$)]. *The earthquakes of Russia in 2016*. Obninsk: FRC UGS RAS, p. 180–181. (In Russ.). URL: http://www.gsras.ru/zr/uploads/files/2016/2016-ER_p180-181.pdf
36. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Shevkunova E.V. **2020**. [The observations by temporal nets: Chuya – Kuray zone of Gorny Altai]. *The earthquakes of Russia in 2018*. Obninsk: FRC UGS RAS, p. 117–120. (In Russ.).
37. Leskova E.V., Emanov A.A. **2013**. Hierarchical properties of the tectonic stress field in the source region of the 2003 Chuya earthquake. *Russian Geology and Geophysics*, 54(1): 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.12.008>
38. Rebetskii Yu.L. **2007**. [Tectonic stresses and strength of mountain ranges]. Moscow: Akademkniga, 406 p. (In Russ.).
39. Emanov A.F., Filina A.G., Emanov A.A., Fateev A.V., Yarygina M.A. **2004**. [The Altai and Sayany]. [The earthquakes of the North Eurasia], 7 (1998). Obninsk: GS RAS, p. 116–125. (In Russ.).
40. Mel'nikova V.I., Gilyova N.A., Radziminovich Ya.B., Seredkina A.I. **2014**. [Kultuk earthquake in 27 August 2008 with $M_w=6.3$, $I_0=8-9$ (Southern Baikal)]. [The earthquakes of the North Eurasia], 17 (2008). Obninsk: GS RAS, p. 386–407. (In Russ.). URL: http://www.gsras.ru/zse/uploads/files/eq_ne_2008/2008-Strong_and_sensible_Eathqueakes-Kultuk-386-407.pdf
41. Golenetskii S.I., Khromovskikh V.S. (compilers). **1977**. [Pribaikal'e (2000 before n.e. – 500 n.e.) – 1974; $M \geq 5.0$; $I_0 \geq 6$]. In: [New catalogue of strong earthquakes on USSR territory from ancient times till 1975]. Moscow: Nauka, p. 315–338. (In Russ.). URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-novyy-katalog-silnyh-zemletryaseny-na-territorii-sssr-s-drevneyshih-vremen-.pdf>

42. Khaidurova E.V., Gileva N.A. (compilers) **2014**. [Catalogue of Kultuk subsequence of earthquakes with $K_r > 6.5$ ($N = 414$) in 2008, with strong earthquake in 27 August 2008 with $M_w = 6.3$, $I_0 = 8-9$]. [*Earthquakes of the North Eurasia*], 17 (2008). Obninsk: GS RAS. (Appendix to year book № 17 (2008) on CD). (In Russ.). URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-17.html>
43. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Soloviev V.M., Shevkunova E.V., Gladyshev E.A., Antonov I.A., Korabelshchikov D.G., Podkorytova V.G., Yankaitis V.V., Elagin S.A., Serezhnikov N.A., Durachenko A.V., Artemova A.I. **2021**. Seismological studies in the Altai-Sayan mountain region. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal = Russian Journal of Seismology*, 3(2): 20–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.2.02>
44. Emanov A.F., Emanov A.A., Filina A.G., Leskova E.V., Kolesnikov Yu.I., Rudakov A.D. **2006**. The common and individual in development of aftershocks of largest earthquakes in the Altai-Sayan Mountain region. *Physical mesomechanics*, 9(1): 33–43. (In Russ.). EDN: IJGIQR
45. Ovsyuchenko A.N., Butanaev Yu.V. **2017**. Seismic history of the Altai-Sayany region and the 2011–2012 earthquakes in Tuva. *New Research of Tuva*, 1. (In Russ.). <https://doi.org/10.25178/nit.2017.1.11>; EDN: XXWZDN
46. Yemanov A.F., Yemanov A.A., Leskova E.V., Seleznev V.S., Fateev A.V. **2014**. The Tuva earthquakes of December 27, 2011, $M_L = 6.7$, and February 26, 2012, $M_L = 6.8$, and their aftershocks. *Doklady Earth Sciences*, 456(1): 594–597. <https://doi.org/10.1134/S1028334X14050249>
47. Yunga S.L. **1997**. On the classification of seismic moment tensors based on their isometric mapping onto a sphere. *Doklady Akademii Nauk*, 352(2): 253–255. (In Russ.).

Об авторе

Сычева Найля Абдуллоевна (<https://orcid.org/0000-0003-0386-3752>), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, ivtran@mail.ru

Поступила 11.10.2023

Принята к публикации 2.11.2023

About the Author

Sycheva, Naylya A. (<https://orcid.org/0000-0003-0386-3752>), Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Senior Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, ivtran@mail.ru

Received 11 October 2023

Accepted 2 November 2023