

**Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН
Главное управление МЧС России по Республике Дагестан**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Тезисы XIX Международной сейсмологической школы
г. Махачкала, Республика Дагестан, 8–12 сентября 2025 г.**

MODERN METHODS OF PROCESSING AND INTERPRETATION OF SEISMOLOGICAL DATA

**Abstracts of the XIX International Seismological Workshop
Makhachkala, September 8-12, 2025**

Обнинск – 2025

УДК 550.34
ББК 26.217
С568



Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIX Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2025. – 126 с. – EDN: YPKKMS, ISBN: 978-5-903258-52-9

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XIX Международной сейсмологической школе «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных», состоявшейся в г. Махачкале, Республика Дагестан, 8–12 сентября 2025 года. Рассматривается широкий круг вопросов современной сейсмологии.

Публикуемые материалы представляют интерес для сейсмологов, геофизиков, геологов и других специалистов в области наук о Земле.

Редакционная коллегия

Член-корреспондент РАН А.А. Маловичко (отв. ред.), А.М. Милехина (техн. ред.), д-р физ.-мат. наук А.Г. Аронов, д-р техн. наук Ю.А. Виноградов, канд. физ.-мат. наук Р.А. Дягилев, канд. физ.-мат. наук И.П. Габсатарова, канд. физ.-мат. наук Н.В. Петрова, д-р физ.-мат. наук И.Н. Соколова.

Подготовка и издание сборника осуществлены при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (УНУ СИЗК МАК) (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Malovichko, A.A. (Ed.). (2025). *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Tezisy XIX Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Abstracts of the XIX International Seismological Workshop]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ., 126 p. (In Russ.). EDN: YPKKMS

Abstracts contain the reports presented at the XIX International Seismological Workshop "Modern methods and interpretation of seismological data" held in Makhachkala, September 8-12, 2025. A wide range of issues of modern seismology is considered.

Proceedings are of interest to seismologists, geophysicists, geologists and other specialists in the field of Earth sciences.

Editorial Staff

Corresponding member of RAS A.A. Malovichko (editor), A.M. Milekhina (technical editor), Dr. A.G. Aronov, Dr. Yu.A. Vinogradov, PhD R.A. Dyagilev, PhD I.P. Gabsatarova, PhD N.V. Petrova, Dr. I.N. Sokolova.

ISBN: 978-5-903258-52-9

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2025

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Ю.А.Виноградов
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук (ФИЦ ЕГС РАН) научная организация в системе Минобрнауки – РАН, обеспечивающая проведение сейсмологического мониторинга на территории Российской Федерации. Центр выполняет роль Национального сейсмологического центра, осуществляя взаимодействие и обмен данными с Международными сейсмологическими организациями. ФИЦ ЕГС РАН решает исключительно широкий спектр фундаментальных и прикладных научных задач, значительная часть из которых определена соответствующими постановлениями Правительства Российской Федерации [1,2]. Работа ФИЦ ЕГС РАН направлена на обеспечение национальной безопасности страны, как в части своевременного оповещения о катастрофических явлениях природного и техногенного характера и их вероятных последствиях, так и в части контроля за проведением ядерных испытаний на территории земного шара. В составе ФИЦ ЕГС РАН круглосуточно действует Служба срочных донесений о произошедших землетрясениях, оперативность и точность работы которой определяется непрерывным улучшением методик сбора, передачи и обработки сейсмологической информации [3].

Работа ФИЦ ЕГС РАН по сбору, передаче, накоплению, хранению и обработке больших массивов сейсмологических данных, составлению каталогов землетрясений и взрывов, разработке алгоритмов и методик по выявлению предвестников землетрясений, выявлению закономерностей возникновения афтершоковых процессов имеет большое научное значение и востребована многими научными организациями. Работы, проводимые в рамках обеспечения бесперебойного функционирования Федеральной сети сейсмологических наблюдений, функциональной подсистемы предупреждения о цунами, сейсмического микрорайонирования, определение дефицита сейсмоустойчивости зданий и сооружений, имеют строго прикладной характер и широко востребованы как научными организациями различного ведомственного подчинения (Минприроды, Минстрой, МЧС, МО РФ), так и предприятиями реального сектора экономики. Работа по обработке и представлению полученных данных построена таким образом, чтобы любая заинтересованная организация, не зависимо от ведомства, могла иметь доступ к информации о землетрясениях в режиме близком к реальному времени.

В докладе приводится информация о современном состоянии ФССН, оценка результатов ее работы в 2024 году. Также в докладе обсуждаются перспективы развития ФИЦ ЕГС РАН.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Постановление Правительства РФ от 11 мая 1993 г. № 444 «О федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений»*
2. *Постановление Правительства РФ от 25 декабря 1993 г. № 1346 «Об утверждении Положения о федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений»*
3. *Виноградов Ю.А. и др. Сильные землетрясения земного шара во II полугодии 2024 г. по данным ССД ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2025. – Т. 7, № 1. – С. 7–25. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.1.01>. – EDN: BSDKKB*

МОНИТОРИНГ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА τ АУ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОСТАНЦИЙ ДАГЕСТАНА

З.А. Адиллов
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

Интерес к поведению отношения скоростей продольных и поперечных волн v_p/v_s (параметр τ – τ АУ) перед землетрясениями и исследования, связанные с ним, имеют уже почти полувековую историю. В период подготовки сильного землетрясения изменения физических характеристик геологической среды, под воздействием таких факторов, как изменения напряженного состояния среды, температурного режима, изменения давления под воздействием роста или падения поля напряжений ведет к потере устойчивости среды и соответствующему разбросу значений параметров различных геофизических полей, в том числе и в поле времен пробега сейсмических волн. На этом и основан кинематический предвестник землетрясений наблюдения за вариациями времен пробега P - и S -волн и их отношений – TS/TP в пространстве и времени [1]. Единственным условием метода является непрерывная регистрация и локализация землетрясений сетью сейсмических станций, дополнительная дорогостоящая аппаратура для наблюдений за предвестником и вычисления прогностического параметра не требуются.

Мониторинг прогностического параметра τ АУ на базе сети сейсмостанций Дагестана проводится с 1992 года. Относительный параметр χ для станционных прогностических кривых рассчитывается по формуле:

$$\chi = F(\sum \Delta\tau_{min}) + F(\sum \Delta\tau_{max}),$$

где $F(x)=1000 \cdot x^4$ при $x < \sigma$; $F(x)=1000 \cdot \sigma^2 \cdot x^2$ при $x > \sigma$, (σ – среднеквадратичная ошибка среднего, рассчитанного за длительное время).

Аномалии на станционных прогностических кривых по времени предвещают сильные землетрясения. Пространственная локализация возможного землетрясения определяется по областям концентрации аномально пониженных и аномально повышенных значений v_p/v_s на картах распределения полей параметра v_p/v_s , где области пониженных значений v_p/v_s ассоциируются с областью, испытывающей напряжения растяжения, область повышенных значений – с напряжением сжатия. Полученные результаты свидетельствуют о том, что прогностический параметр τ АУ предоставляет возможность оценки поля напряжений в геологической среде и оценки реализации землетрясения в ближайшей перспективе методом наблюдения за параметром v_p/v_s , по данным региональной сейсмической сети.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Славина Л.Б., Мячкин В.В. К вопросу о времени и месте возникновения кинематических предвестников сильных землетрясений // Модельные и натурные исследования очагов землетрясений. – М.: Наука, 1991. – С. 71–78.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ БОЛЬШОГО КАВКАЗА НА ОСНОВЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

^{1,2}Д.Ж. Акматов, к.т.н., ^{1,2,3}В.Н. Татаринов, чл.-кор. РАН, д.т.н.,

^{1,2}А.И. Маневич, ^{1,3}Б.А. Дзедоев, д.ф.-м.н.

¹ГЦ РАН, г. Москва

²НИТУ МИСИС, г. Москва

³ИФЗ РАН, г. Москва

Большой Кавказ представляет собой одну из наиболее тектонически активных зон Евразии, характеризующуюся высокой сейсмичностью и активными геодинамическими процессами. Изучение напряженно-деформированного состояния земной коры в этом регионе является ключом для понимания механизмов современной деформации земной коры, оценки сейсмической опасности. Несмотря на наличие обширных данных геодезических и сейсмологических наблюдений [1–2], существует необходимость в комплексном подходе, объединяющем численное моделирование и интерпретацию полей напряжений [3].

Для моделирования НДС использован метод конечных элементов в форме перемещений. Расчетная область охватывает территорию размером 500×500 км, что позволяет учесть основные структурно-тектонические особенности региона. Разломы представлены как объемные зоны с пониженным модулем упругости. В расчетах использованы граничные условия, основанные на данных геодезических измерений и полевой съемки трещиноватости [2, 4].

Моделирование позволило получить пространственные модели распределения полей напряжений, критериев разрушения и их аномалий. Установлено, что разломные зоны оказывают значительное влияние на перераспределение напряжений, способствуя формированию областей повышенной напряженности, которые могут стать очагами возникновения новых тектонических нарушений. Установлено, что субгоризонтальная ориентация главной оси сжатия и субвертикальная ориентация главной оси растяжения соответствуют обстановке надвигообразования, характерной для региона.

Проведенное геомеханическое моделирование НДС земной коры Большого Кавказа позволило выявить особенности распределения полей напряжений, обусловленные структурно-тектоническими особенностями региона. Результаты исследования могут быть использованы для оценки сейсмической опасности и разработки мероприятий по снижению риска природных катастроф в регионе.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда «Системная оценка сейсмической опасности центральной части Большого Кавказа (Осетинский сектор)» (проект № 23-17-00176).

ЛИТЕРАТУРА

1. Татаринов В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И., Дзедоев Б.А., Дзеранов Б.В., Авдоница А.М., Лосев И.В., Королькова А.А. Новейшая тектоническая эволюция Кавказа: современные вертикальные движения и механизм деформирования земной коры // Физика Земли. 2024. № 4. с. 76–99. DOI: 10.31857/S0002333724040068. EDN: FWTYBY
2. Маневич А.И., Акматов Д.Ж., Шевчук Р.В., Дзеранов Б.В. Разработка региональной карты ориентации осей действующих напряжений для территории Республики Северная Осетия-Алания // Горный журнал. 2025. № 1. с. 48–53. DOI: 10.17580/gzh.2025.01.07.
3. Татаринов В.Н., Акматов Д.Ж., Маневич А.И., Шевчук Р.В. Иерархический подход к оценке устойчивости геологической среды в геомеханических исследованиях // Горный журнал. 2024. № 1. с. 15–21. DOI: 10.17580/gzh.2024.01.03.
4. Маневич А.И., Дзедоев Б.А., Гвишиани А.Д., Кафтан В.И., Татаринов В.Н., Дзеранов Б.В., Заалишвили В.Б., Лосев И.В., Акматов Д.Ж., Шевчук Р.В., Габараев А.Ф. Развитие сети деформационного ГНСС-мониторинга Восточных ветвей Владикавказского разлома // Геология и геофизика юга России. 2024. № 14 (3). с. 41–56. DOI: 10.46698/g9839-5423-4922-t

ТЕХНИКА ИНВЕРСИИ ПРИЕМНЫХ ФУНКЦИЙ

И.М. Алёшин, А.Г. Гоев
ИФЗ РАН, г. Москва

Томография по функциям приемника – метод создания трехмерной сейсмической модели региона по данным сети широкополосных сейсмических станций [1]. Впервые метод был сформулирован в статье [2]. Он основан на интерполяции совокупности одномерных разрезов – зависимостей сейсмических скоростей под станциями сети. В свою очередь, чтобы получить одномерные разрезы, используют специальным образом обработанные волновые формы обменных волн [3]. В докладе описан один из методов инверсии функций приемника. Под инверсией (обращением) мы понимаем процесс построения одномерного скоростного разреза по данным наблюдений. В данном случае в качестве измерений выступают приемные функции и сопутствующие сейсмическим данные.

В области непосредственно под сейсмическим приемником (станцией) телесейсмические волны распространяются субвертикально. Поэтому в большинстве случаев для интерпретации среды под станцией можно ограничиться одномерной моделью – совокупностью однородных упругих слоев, лежащих на полупространстве. Зависимость волновых форм функций приемника от строения среды имеет ряд особенностей, которые существенно осложняют решения обратной задачи. В настоящее время ее решение основано на формализме апостериорной плотности распределения вероятности (АПРФ). Наиболее распространены методы расчета, основанные на марковских цепях, которые позволяют восстановить форму АПРФ за приемлемое время. Нами будет представлен альтернативный подход к построению инверсии, изложенный кратко в работе [4], будут приведены основные идеи метода и примеры применения к реальным данным.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алёшин И.М., Винник Л.П., Косарев Г.Л.** Построение трехмерной сейсмической модели на основе анализа волновых форм на примере Тянь-Шаня и Фенноскандии // Материалы X Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» 14–18 сентября 2015 г., пос. Новханы, Азербайджан, – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 6–9.
2. **Vinnik L.P., Reigber Ch., Aleshin I.M., Kosarev G.L., Kaban M.K., Oreshin S.I., Roecker S.** Receiver function tomography of the central Tien Shan (2004) // *Earth and Planetary Science Letters*, – V. 225, No 1–2, – P. 131–146.
3. **Винник Л.П.** Сейсмология приемных функций (2019) // *Физика Земли*, – № 1, – С. 16–27.
4. **Алёшин И.М.** Построение решения обратной задачи по ансамблю моделей на примере инверсии приемных функций (2021) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – Т. 496, № 1, – С. 74–77.

ЛЕДНИКОВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ АРХ. ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ

¹Г.Н. Антоновская, ^{1,2}А.И. Кошкин, ^{1,2}Я.В. Конечная,

¹Е.Р. Морозова, ¹Я.А. Михайлова

¹ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Архипелаг Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) расположен севернее 80-й параллели на западе Российского сектора Арктики. В его состав входит 191 остров, ледники занимают 85 % общей площади архипелага, их мощность достигает 300–450 м. На о. Земля Александры установлены стационарные сейсмические станции ФИЦКИА УрО РАН, входящие в состав УНУ «Архангельская сейсмическая сеть» [1] и с 2011 г. ведутся непрерывные сейсмологические наблюдения. Большая часть территории о. Земля Александры покрыта двумя ледниковыми куполами: Кропоткина и Лунный. Значительная часть периметра ледников заканчивается обрывами в море. Купол Кропоткина при ширине 8–10 км имеет высоту 314 м, высота купола Лунный при ширине около 15 км составляет около 400 м. На о. Земля Георга ЗФИ расположено 7 ледниковых куполов, некоторые объединены между собой. Наивысшая точка расположена на леднике Брусилова – 416 м.

За весь период сейсмологических наблюдений (с 2011 по 2024 гг.) двумя станциями ФИЦКИА УрО РАН ZFI2 и OMEGA зарегистрировано 94 локальных сейсмических события, 88 из которых удалось лоцировать на расстояниях до 50 км, диапазон локальной магнитуды M_L всех событий составляет от 0.1 до 1.7.

Пространственное распределение полученных эпицентров показывает, что большинство событий на о. Земля Александры определяются в районе купола Лунный, в меньшей степени – купола Кропоткина. Множество событий зарегистрировано в районе о. Земля Георга (купол Туманный и Брусилова). Единичные события также зафиксированы у купола Зандера.

Более интересным с точки зрения мониторинга представляется временное распределение полученных событий. Полученная диаграмма свидетельствует о том, что купол Лунный имеет периодическую активность в 2012–2013 гг., затем следует период затишья до конца 2015 г., а затем снова период активности в 2016–2018 гг. В середине 2024 г. вновь зарегистрировано несколько событий, что, возможно, предваряет новый период активности. Купол Кропоткина такой периодичности не имеет, но активная фаза наблюдается с 2020 г. по настоящее время. Похожая ситуация наблюдается на куполе Туманный на о. Земля Георга.

Долгосрочные наблюдения за подобного рода событиями могут обеспечивать мониторинг активности разрушения ледников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Antonovskaya G.N., Konechnaya Y.V., Morozova E.R., Mikhailova Y.A., Shakhova E.V. Potential of the Arkhangelsk seismic network for European Arctic monitoring // Earthquake Science. – 2024. – Vol. 37, Is. 5. – PP. 434–444. DOI: 10.1016/j.eq.2024.06.005. – EDN: TBMPAC

НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ И КАНАЛЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ НА ПАМИРЕ

О.И. Аптикаева, к.ф.-м.н
ИФЗ РАН, г. Москва

В настоящей работе рассматривается полученная с использованием метода короткопериодной коды детальная структура поля поглощения S -волн в сейсмоактивных зонах Гиндукуша, Памира, Таджикской депрессии и Южного Тянь-Шаня и проводится ее сопоставление с элементами сейсмичности.

Для решения поставленной задачи были привлечены записи более 1200 землетрясений с $M > 3.5$, зарегистрированных в 2000–2023 гг. станциями сейсмических сетей Кыргызской Республики и Республики Таджикистан, эпицентральных расстояния преобладающего числа событий составили 100–300 км.

Структура поля поглощения S -волн района исследований представляет собой совокупность изометричных в плане добротных блоков и, по большей части, линейно вытянутых зон сильного поглощения (ослабленных зон). Наиболее протяженные линейные ослабленные зоны, в пределах которых эффективная добротность $Q_s = 100$ –300, можно отождествить с границами Памира с Таджикской депрессией на западе, Гиндукушем на юге и Южным Тянь-Шанем на севере.

На большей части территории Памира на глубинах более 200 км величина добротности $Q_s \sim 400$. Здесь имеют место также небольшие до 20 км изометричные в плане добротные ($Q_s = 500$ –1000) блоки и линейно вытянутые низкодобротные зоны ($Q_s = 300$). На северо-и юго-востоке района исследований встречаются небольшие зоны, где $Q_s = 200$. В пределах Таджикской депрессии поле поглощения контрастно ($Q_s = 200$ –1000). Здесь, особенно на юге депрессии, широко распространены области сильного поглощения. Результаты изучения поля поглощения в гиндукушской зоне глубокофокусной сейсмичности свидетельствуют о наличии здесь обширной области сильного поглощения ($Q_s = 200$). Она окружает добротный блок ($Q_s \sim 400$ –500), к которому приурочены очаги большинства сильнейших глубокофокусных гиндукушских землетрясений. Похожие, но несколько меньших размеров, зоны сильного поглощения ($Q_s = 300$) выявлены и на Южном Тянь-Шане. Для этого района характерны контрастное поле поглощения ($Q_s = 100$ –800) и самые крупные в районе исследования добротные блоки. Здесь же происходят и наиболее сильные коровые землетрясения.

Имея детальную информацию о структуре поля поглощения S -волн на исследуемой территории, можно перейти к изучению взаимосвязи с ней сильнейших глубокофокусных землетрясений и сильных коровых землетрясений Центральной и Южной Азии, сосредоточив особое внимание на изучении природы взаимодействия различных сеймотектонических структур, когда конкретное землетрясение испытывает инициирующее влияние предшествующих событий и вносит свой вклад в дальнейшее развитие сеймотектонического процесса. В этом контексте на примере трех сильных коровых землетрясений (Алайского 29.08.1963 г. и Каракульского 16.10.1963 г., $K = 15.5$, а также Маркансуйского 11.08.1974 г., $K = 16.0$) рассмотрены траектории миграции очагов землетрясений, которые тяготеют к наиболее выраженным ослабленным зонам, последние же, в свою очередь, соответствуют описанным в работе [1] предположительным каналам распространения деформаций между глубокофокусными гиндукушскими землетрясениями и коровыми землетрясениями Южного Тянь-Шаня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kufner, S.-K., Schurr, B., Ratschbacher, L., Murodkulov, S., Abdulhameed, S., Ischuk, A., Metzger, S., Kakar, N. Seismotectonics of the Tajik Basin and Surrounding Mountain Ranges. – Tectonics, 37, 8, pp. 2404–2424. DOI: <http://doi.org/10.1029/2017TC004812>

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАТУХАНИЯ УПРУГИХ ВОЛН ЛОКАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

**В.В. Арапов, А.А. Еманов, к.г.-м.н., А.Ф. Еманов, д.т.н., А.В. Фатеев, к.ф.-м.н.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск**

Наличие большого количества стационарных станций и разветвленной временной сети сейсмических станций создает благоприятные условия для изучения региональных и локальных особенностей строения среды сейсмологическими методами. Исследование затухания сейсмических волн и его компонент в земной коре методом инверсии огибающей коды [3] позволяет выявить зоны тектонических неоднородностей. Анализ волновых форм землетрясений с магнитудой $M_L > 2.5$, зарегистрированных сетью стационарных и временных станций АСФ ФИЦ ЕГС РАН в пределах исследуемого региона [2], позволил определить вклад поглощения Q_i^{-1} и рассеяния Q_{sc}^{-1} в общее затухание Q_T^{-1} основных структур региона и выполнить оценку пространственного распределения параметра Q_i [1], также сейсмического альбедо B_0 .

На частоте 1.5 Гц выявлено преобладание вклада поглощения ($Q_i^{-1} > Q_{sc}^{-1}$), что характерно для сред с высокой вязкостью или наличием флюидонасыщенных зон. Однако на частотах до 24 Гц соотношение Q_i^{-1} и Q_{sc}^{-1} выравнивается, указывая на усиление роли рассеяния. Это связано с тем, что высокочастотные волны сильнее взаимодействуют с мелкими неоднородностями (трещинами, порами), типичными для верхних слоев коры. Рост вклада рассеяния на высоких частотах подтверждает повышенную фрагментированность верхних слоев, что характерно для сейсмически активных регионов. Значения Q_T^{-1} (общее затухание) варьируются в зависимости от тектонической активности: максимумы наблюдаются в зонах разломов. Сейсмическое альбедо (B_0) ниже в областях с интенсивным рассеянием, например, в осадочных бассейнах или зонах трещиноватости.

Из полученных значений затухания можно вычислить параметр сейсмической добротности, позволяющий в дальнейшем выполнять точный расчет моментных магнитуд и оценку очаговых параметров землетрясений, а также более точно рассчитывать искусственные акселерограммы и др.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арапов В.В., Еманов А.А., Юшин В.И., Еманов А.Ф.* Площадные исследования добротности земной коры в Алтае-Саянской складчатой области // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2024. – № 1 (57). – С. 10–23. DOI 10.20403/2078-0575-2024-1-10-23. EDN ZZOVNDH
2. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. и др.* Сейсмичность Алтае-Саянского региона в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 133–142.
3. *Sens-Schönfelder C., Wegler U.* Radiative transfer theory for estimation of the seismic moment // Geophysical Journal International. – 2006. – Т. 167, № 3. – С. 1363–1372.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БЕЛАРУСИ

Г.А. Аронов, А.Г. Аронов, д.ф.-м.н.
ЦГМ НАН Беларуси, г Минск, Беларусь

Перспективные направления сейсмологических исследований в Беларуси в первую очередь определяются национальными нормативно-правовыми актами [1, 2]. Современные исследования по оценке сейсмической опасности при сооружении и эксплуатации особо ответственных объектов (высотные здания, гидротехнические сооружения и др.) и объектов использования атомной энергии (атомные электростанции, пункты захоронения радиоактивных отходов) включают решение многих вопросов, из которых к основным относятся изучение региональной и местной сейсмичности, сейсмотектонических условий, контроль состояния сейсмической обстановки на основе проведения непрерывных инструментальных наблюдений, оценка сейсмической опасности и степени сейсмических воздействий. В настоящее время накоплен большой международный опыт в этой области, который позволил выработать основные базовые принципы и критерии обеспечения безопасности при размещении таких объектов. Вместе с тем практика показывает, что такой опыт не может быть автоматически, без соответствующей корректировки, перенесен из одного региона в другой, т.к. сейсмотектонические условия и геодинамические факторы для различных районов существенно различаются и обусловлены спецификой их геологического развития.

Одним из перспективных направлений является развитие системы сейсмологических наблюдений в Солигорском горнопромышленном районе (Старобинское месторождение калийных солей) для возможного предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера и своевременного оповещения населения, изучения природы сейсмичности и напряженно-деформируемого состояния среды в районе месторождения. Вопрос о природе сейсмических событий в Солигорском горнопромышленном районе чрезвычайно актуален в научном и практическом отношении. Проявление сейсмичности за пределами зоны промышленных выработок служит признаком того, что с определенного времени сейсмический процесс в основном связан с региональными геодинамическими факторами и в меньшей степени зависит от работы горного предприятия.

Из перспективных направлений следует выделить изучение локальной и региональной сейсмичности на Антарктическом континенте, где базируется Белорусская антарктическая станция БАС в районе Вечернегорской площадки западной части Земли Эндерби. Основная задача заключается в изучении особенностей проявления сейсмических событий с определением кинематических и динамических параметров для кристаллической коры и ледникового щита в районе размещения БАС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *О создании Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь*: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 20 апр. 1993 г., № 247 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – Минск, 1993. – 6 с.
2. *Об утверждении положения о системе мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера*: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 19 ноя. 2004 г., № 1466 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – Минск, 2004. – 4 с.

ОСОБЕННОСТИ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДАГЕСТАНА

О.А. Асманов, к.г.-м.н.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

Кумулятивные графики накопления макросейсмических событий интенсивностью 6–8 баллов для территории Дагестана указывают на среднюю периодичность повторемости сотрясений указанной балльности 1.4 года.

Для оценки интенсивности сотрясений обычно используется уравнение макросейсмического поля, которое в практике макросейсмических исследований наибольшее распространение получила в формулах типа Блейка-Шебалина:

$$I_0 = bM - \gamma_0 \lg h + C, \quad I_1 = bM - \gamma_0 \lg h \sqrt{\Delta_1^2 + h^2} + C \quad (1)$$

Для Дагестана и прилегающих районов принято считать коэффициенты b , γ_0 , C равными 1.5; 3.6; 3.1 соответственно, но для разных очаговых зон значения этих коэффициентов различаются, к примеру, для очаговой зоны «Дагестанский клин» получены следующие значения этих коэффициентов: 1.2; 3.9; 4.9. Поэтому реальные сейсмические воздействия имеют сложный характер, обусловленный параметрами очага землетрясения, региональными и локальными геолого-тектоническими особенностями.

Изосейсты, как известно, в большинстве своем приближаются к форме эллипсов и ориентируются длинной осью по простиранию основных геологических структур. При сложностях ориентации главной оси по основным геологическим структурам, приходится учитывать пространственное распределение форшоков и афтершоков. Для более достоверной оценки макросейсмических эффектов землетрясений используются такие признаки, как реакция людей, повреждения зданий и сооружений, проявления в природе и др.

При макросейсмическом описании землетрясений необходимо использовать реальные геометрические размеры очагов путем перехода от понятия точечности очагов к их пространственно-трехмерному представлению. Единой корреляционной зависимости между объемом гипоцентра и магнитуды не существует. Для разных очаговых зон исследуемой территории нами были получены разные корреляционные зависимости между размерами очага L_K (км) и энергией землетрясения [1].

Нами были отобраны двадцать землетрясений, в макросейсмическом описании которых была большая уверенность, и выявлена связь между большим и меньшим радиусами изосейст с магнитудой (для интервала глубин 10–20 км).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адилов З.А., Асманов О.А., Даниялов М.Г. Корреляция энергии землетрясения с объемом гипоцентральной области для территории Дагестана// Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой международной сейсмологической школы. – Обнинск, 2013. – С. 21–24.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЯ МЕТОДОМ СТОЯЧИХ ВОЛН

В.В. Атрохин, С.В. Курткин, М.А. Бахтин, Ю.А. Гавриленко
МФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Магадан

В качестве объекта исследования было выбрано административное здание «Общезижение Северо-Восточного государственного университета», расположенное в г. Магадане. Предварительно были рассмотрены геологическая характеристика исследуемой территории, тектоническое строение района, сейсмичность [1, 2, 3]. На основании этих данных была проведена оценка магнитуды «потенциально возможного максимального землетрясения» сейсмогенных разломов и зон возможных очагов землетрясений.

Данные динамического тестирования, выполненного методом «Стоячих волн» [4] в здании СВГУ использовались для определения собственных частот сооружения и оценки влияния сторонних динамических воздействий на объект исследования. Наблюдения производились в несколько этапов: проверка оборудования, расстановка сейсмических датчиков в подвале и на крыше здания, установка точек промежуточных наблюдений по зданию поэтажно при использовании двух датчиков, поставленных в подвале и на крыше в качестве опорных.

Результатом исследований являются эпюры построенные в одном вертикальном профиле центра здания на основе трех частот 1.95 Гц, 2.25 Гц и 7.08-7.37 Гц по X и двух частот 2.1 Гц и 6.4–6.93 Гц по Y.

При изучении спектрограмм и полученных эпюр наблюдается возрастание амплитуд колебаний от опорной точки подвала и до технического этажа, а также выделяются сложные формы с изменением фазы колебаний по вертикали на седьмом и девятом этажах. Результаты работ позволили сделать предварительные выводы о техническом состоянии здания и его устойчивости к возможным сейсмическим воздействиям.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Уломов В.И., Шумилина Л.С.** Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2015. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. – М.: ОИФЗ РАН, 2015. – 57 с.
2. **Алёшина Е.И., Седов Б.М.** Развитие структуры и геодинамики северной границы Охотоморской плиты // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2009. – С. 11–13.
3. **Алёшина Е.И., Годзиковская А.А., Гунбина Л.В., Коломиец М.В., Седов Б.М.** Сводный каталог землетрясений Северо-Востока России с древнейших времен по 1974. – Обнинск, Магадан: ГС РАН, 2015. – 152 с.
4. **Еманов А.Ф., Красников А.А.** Применение метода стоячих волн для исследования сейсмоизолированных зданий // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42, № 4 – С.37–64. – EDN: VOXXGR

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГТС ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА ЗИФ АО «ПАВЛИК»

В.В. Атрохин, С.В. Курткин, М.А. Бахтин
МФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Магадан

Месторождение «Павлик» находится в Тенькинском районе Магаданской области, что по нормативной карте ОСР2015 соответствует 8-ми и 9-ти балльным зонам сейсмической опасности. Целью работ было слежение за сейсмическим режимом в районе сооружения и выявление связи сейсмичности с режимом эксплуатации водохранилища, а также совместно с сейсмометрическими наблюдениями, контроль состояния ГТС.

Оценка параметров сейсмических воздействий на территорию ГТС хвостового хозяйства ЗИФ АО «Павлик» проводилась на основе каталога всех «местных» землетрясений и промышленных взрывов, которые были зарегистрированы приборами, установленными на территории ГТС. Для расчетов параметров PGA и PGV использовались максимальные значения поперечной волны SG, измерялся полный вектор амплитуды по горизонтальным составляющим NS и EW. Энергетический класс K_r землетрясений определялся по максимуму полного вектора смещения на сейсмограмме.

Для оценки влияния отбирались сейсмические события (землетрясения и промышленные взрывы) из разных зон и на разных удалениях от объекта исследований. Воздействия на грунты рассчитывались по формуле Н.В. Шебалина с коэффициентами уравнения макросейсмического поля, рассчитанными для Якутии и Северо-Востока РФ [1].

Для получения точных данных о сейсмических воздействиях, использовались измеренные PGA и PGV в точке наблюдения, при переходе от пиковых скоростей и ускорений смещения грунта в интенсивность сотрясений в баллах по шкале сейсмической интенсивности (ШСИ-17) использовалось соотношение, приведенное в ГОСТ Р 57546-2017 [2].

По итогам мониторинга получены следующие результаты: инструментальная оценка интенсивности по шкале ШСИ-17 для всех событий – меньше 1 балла в районе ГТС хвостового хозяйства ЗИФ АО «Павлик», сейсмическую активность можно считать умеренной.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* // Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – 536 с.
2. *ГОСТ Р 57546–2017.* Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности [Текст]. – Введ. 2017–07–19. – М.: Стандартиформ, 2017. – 28 с.

ОЩУТИМОЕ МИЗУРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 8 НОЯБРЯ 2024 Г. С $K_p=10.8$, $I_0=4-5$ БАЛЛОВ

С.С. Багаева, И.Ю. Дмитриева
СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

8 ноября 2024 г. в 19^h53^m в горной местности Республики Северная Осетия–Алания в полутора километрах восточнее поселка Садон и в 3-х км западнее поселка Мизур произошло ощутимое землетрясение с $K_p=10.8$ и $I_0=4-5$ баллов, названное Мизурским. Инструментальные параметры землетрясения рассчитаны в результате сводной обработки данных сети региональных сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН на Северном Кавказе (33 станции) [1], Грузии (семь станций) и Армении (одна станция), хорошо окружавших эпицентр (азимутальная брешь не превышала $GAP=43^\circ$) на расстояниях от 12 до 316 км. За основным толчком последовала серия из 14 афтершоков с $K_p=3.5-5.7$. Для землетрясения был построен механизм очага, представленный взбросом с компонентами сдвига по равнонаклонным нодальным плоскостям «кавказского» простиранья.

Очаг рассматриваемого землетрясения локализован в пределах границ Осетинской части Дагестанского клина и Терско-Каспийского прогиба вблизи Мизурской зоны ВОЗ, для которой теоретически максимально возможная магнитуда оценивается в $M_{max}=6.2$ [2].

По данным [3, 4] была рассмотрена история сейсмичности очаговой зоны землетрясения 8 ноября за последние 150 лет. В радиусе 25 км от эпицентра исследуемого землетрясения известны 14 землетрясений с $M=3.5-5.5$. Помимо этого, вблизи данной области, примерно в 39 км, произошло крупное Рачинское землетрясение 1991 г., которое характеризовалось значительным числом афтершоков.

Макросейсмический эффект землетрясения был изучен сотрудниками СОФ ФИЦ ЕГС РАН в 39 населенных пунктах. Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений составила 4–5 баллов по шкале MSK-64 в семи населенных пунктах республики на расстояниях 1.5–11 км от инструментального эпицентра.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Габсатарова И.П., Коломиец Ю.Н., Королецки Л.Н., Адилов А.З., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 23–30.
2. Рогожин Е.А., Габсатарова И.П., Погода Э.В. Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия–Алания // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии». – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 243–249.
3. Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). П б. Кавказ // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
4. Годзиковская А.А. База данных «Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4.0$ ($K \geq 11.0$) с древнейших времен по 2000 г.» [Электронный ресурс]. – URL: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/>

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ОПАСНОГО ПЕРИОДА АФТЕРШОКОВ В ХИБИНСКОМ МАССИВЕ

С.В. Баранов, д.ф.-м.н., А.Ю. Моторин
КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты

При добыче полезных ископаемых в тектонически-нагруженных массивах горных пород возникает природно-техногенная сейсмичность. Примером является Хибинский массив, расположенный в центре Кольского полуострова, где с 1920-х гг. ведется добыча апатит-нефелиновых руд. В Хибинском массиве присутствуют тектонические нарушения, а горизонтальные напряжения в некоторых местах до 20 раз превышают вертикальные [1].

Как и в случае тектонической сейсмичности, природно-техногенные землетрясения инициируют афтершоки (постсейсмическая активность), которые представляют самостоятельную опасность, поскольку элементы горных выработок, получившие скрытые повреждения в результате основного толчка, могут быть разрушены серией более слабых афтершоков. В этой связи задача оценки длительности опасного периода афтершоковой активности является актуальной.

В случае тектонической сейсмичности эта задача была решена в работе [2]. Пусть $\tau_{\Delta M}$ – время последнего афтершока с магнитудой $M \geq M_m - \Delta M$. Тогда распределение величины $\tau_{\Delta M}$ на интервале времени от 0 до T для конкретной серии афтершоков имеет вид [2]:

$$F_{\Lambda}(\tau_{\Delta M}) = e^{-\Lambda\{1-F(\tau_{\Delta M})\}}, \quad (1)$$

где Λ – ожидаемое число афтершоков на интервале $(0, T)$; $F(\tau_{\Delta M})$ – функция распределения времени афтершоков Омори-Утсу.

Усредненная функция распределения величины $\tau_{\Delta M}$ (при условии $\tau_{\Delta M} < T$) по совокупности серий имеет вид [2]:

$$\overline{F_{\Lambda}}(\tau_{\Delta M}) = \frac{1}{1 + \Lambda_{\Delta M}(1 - F(\tau_{\Delta M}))}, \quad (2)$$

где $\Lambda_{\Delta M}$ – продуктивность сейсмических событий (среднее число афтершоков с $M \geq M_m - \Delta M$, инициированных основным толчком с магнитудой M_m или выше).

Оценив параметры афтершоковой активности (продуктивность и параметры закона Омори-Утсу) по афтершоковым сериям, зарегистрированным на месторождениях Хибин за 1996–2020 гг., было показано соответствие распределения (2) исходным данным. При этом в качестве основных толчков рассматривались события с $M_m \geq 1.5$, а $\Delta M = 1.5$ (представительная магнитуда $M_c = 0$). Это результат позволяет сделать вывод о подобии природной и природно-техногенной постсейсмической активности в Хибинском массиве.

Использование информации об афтершоках за время t после основного толчка для оценки ожидаемого числа афтершоков на интервале (t, T) по закону Омори-Утсу показало, что усредненная оценка может быть улучшена. Так, при $t = 3, 4, 5, 6$ ч информационный выигрыш модели (1) составил около 50 % по сравнению с усредненной моделью (2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Каспарьян Э.В., Федотов Ю.В. Напряженно-деформированное состояние массива пород Хибинских месторождений и задачи геомеханического районирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 5. – С. 97–107.
2. Шебалин П.Н., Баранов С.В. О прогнозировании афтершоковой активности. 5. Оценка длительности опасного периода. // Физика Земли. – 2019. – № 5. – С. 22–37. – DOI: 10.31857/S0002-33372019522-37

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧНОСТИ ДАГЕСТАНА ЗА ПЕРИОД 2020–2023 ГГ.

Т.Б. Батыров, М.А. Исаев
ДФ ФИЦ ЕГС РАН г. Махачкала

В статье рассматривается сейсмогеодинамика территории Дагестана, включая как приграничные районы, так и прибрежную акваторию Каспийского моря, за период с 2020 по 2023 год. Наша работа направлена на детальное рассмотрение сейсмической активности в данном регионе, приводящей к более глубинному анализу и оценке потенциальных рисков. В рамках проведенного исследования был осуществлён комплексный и всесторонний анализ сейсмичности, включающий составление карты эпицентров землетрясений [1], построение графика распределения землетрясений по глубинам, визуализирующий сейсмический процесс на различных уровнях земной коры, а также построение графика выделенной сейсмической энергии, который иллюстрирует динамику сейсмической активности в указанный период времени. Кроме того, в процессе исследования были построены карта сейсмической активности с параметром A_{10} и карта плотности землетрясений за рассматриваемый период [1], что позволяет наглядно представить имеющуюся информацию. В ходе проведения данного исследования были выявлены области повышенной сейсмической активности, особенно в приграничном районе с Чеченской Республикой, где наблюдались события с высоким энергетическим классом. Прибрежная часть Каспийского моря показала умеренную сейсмическую активность, где было зарегистрировано одно сейсмическое событие с энергетическим классом $K=12$, которое в данных координатах имеет определенный период повторяемости [2]. Центральная часть Дагестана также отметилась землетрясением с высоким энергетическим классом $K=14$, что, безусловно, привлекает внимание исследователей и специалистов. Кроме того, зона, расположенная на приграничной территории с Азербайджаном, оказалась особенно активной, в ней было зафиксировано большое количество сейсмических событий, что указывает на наличие активных тектонических процессов, происходящих в данном регионе. Особый интерес в процессе общего анализа вызывает территориальное распределение очагов землетрясений, обладающих энергетическим классом $K>12$, а также высокая концентрация эпицентров, относящихся к низкому энергетическому классу. Эти данные играют важную роль в изучении динамики сейсмической активности и позволяют выявить зоны, подверженные большому риску. Также следует отметить значимость распределения сейсмической энергии на карте A_{10} , которая позволяет визуально выделить наиболее активные и потенциально опасные в сейсмическом отношении участки, требующие дополнительного мониторинга и исследования.

Полученные данные будут использованы для дальнейшего анализа современной сейсмичности, что в свою очередь содействует разработке более эффективных мер по управлению рисками сейсмической активности в данном регионе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каталог землетрясений Дагестана за 2020–2023 гг.* Махачкала, фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2023 г.
2. *Батыров Т.Б., Исаев М.А.* Сейсмичность территории республики Дагестан за 2019 год. // Мониторинг. Наука и технологии. – 2023. – № 4 (58) – С. 29–34.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГТС, ДИНАМИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

**А.А. Бах, А.Г. Шеболтасов, А.Ф. Еманов, д.т.н., А.А. Еманов, к.г.-м.н.,
П.О. Полянский, к.г.-м.н.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск**

В России эксплуатируется большое число гидротехнических сооружений различного назначения: энергетического, водохозяйственного, связанных с добычей полезных ископаемых. В пункте 6.22 Строительных Правил [1] говорится, что на напорных гидротехнических сооружениях I класса ответственности, расположенных в районах с сейсмичностью 7 баллов и выше, и на сооружениях II класса ответственности в районах с сейсмичностью 8 баллов и выше по шкале MSK-64 должны проводиться инженерно-сейсмометрические наблюдения за работой сооружений и береговых примыканий, инженерно-сейсмологические наблюдения в зоне ложа водохранилища вблизи створа сооружений и на прилегающих территориях, а также должно проводиться динамическое тестирование ГТС с составлением динамического паспорта [2]. В [3] и [4] подробно даны требования к проведению различного рода уточняющих работ по сейсмичности района расположения сооружений и сейсмических свойств площадки, приведены требования к мониторинговым системам.

В данной работе рассматриваются различные динамические воздействия на ГТС:

1. Резонансные колебания строительных конструкций на верхнем строении здания средненапорной ГЭС [5], определенные методом «Стоячих волн», в которых выделены собственные частоты по трем компонентам.

2. Приведено воздействие работающих гидроагрегатов на здание электростанции.

3. Показано, что дополнительное оборудование может вызывать резонансные явления высоких амплитуд в строительных элементах, находящихся на большом удалении от источника.

4. Выявлено, что работающие водосбросы вызывают резонансные явления в элементах водоводов и в целом в бетонных плотинах крупных ГЭС (на примере Саяно-Шушенской). Амплитуды при этом достигают нескольких мм/с.

5. Отмечено, что автотранспорт и железнодорожный транспорт, движущийся по ГТС, особенно по мостовым сооружениям, также оказывает значительное, до 10 мм/с, воздействие на конструкции.

6. Показано, что взрывы в ближайших карьерах также оказывают заметное воздействие на гидротехнические сооружения.

7. Выделены «экзотические» источники сейсмических волн, регистрируемых на ГТС. В данном случае это падение глыб льда в пруд-отстойник при добыче полезных ископаемых в зимнее время.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *СП 58.13330.2019* Гидротехнические сооружения. Основные положения.
2. *Типовой динамический паспорт гидротехнических сооружений электростанций и инструкция по его заполнению*. «РАО ЕС России». – Санкт-Петербург, 1995.
3. *СП 358.1325800.2017* сооружения гидротехнические. Правила проектирования и строительства в сейсмических районах.
4. *Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации*, утвержденные приказом Минэнерго России № 229 от 19.06.2003 г и № 1070 от 04.10.2022.
5. *Бах А.А., Еманов А.Ф., Шеболтасов А.Г., Децик Д.В., Еманов А.А., Полянский П.О. и др.* Всокоточные определения методом стоячих волн характеристик собственных колебаний плотин средненапорных ГЭС // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2025. – Т. 52, № 1. – С. 120–131.

ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ. О ЧЕМ ГОВОРЯТ ПАРАМЕТРЫ СОБЫТИЙ МАЛЫХ МАГНИТУД?

А.Н. Беседина, к.ф.-м.н., Г.Г. Кочарян, д.ф.-м.н.
ИДГ РАН, г. Москва

Техногенной сейсмичности, связанной с ведением горных работ в напряженных массивах, уделяется значительное внимание [1]. Землетрясения значительной магнитуды зарегистрированы во многих регионах интенсивной добычи полезных ископаемых в России, Китае, США, ЮАР и т.д. [2]. При разработке месторождений полезных ископаемых актуальными задачами являются мониторинг геодинамических явлений, оценка геомеханического состояния массива горных пород, осуществление прогноза удароопасности и др.

Мониторинг сейсмоакустических последовательностей, зарегистрированных после проведения массовых взрывов, позволяет оценить основные параметры геодинамических событий в области ведения горных работ. Скалярный сейсмический момент и излученная сейсмическая энергия являются основными характеристиками, описывающими масштаб события и его сейсмический эффект на массив горных пород. При сопоставимых значениях сейсмического момента может излучаться различное количество сейсмической энергии. Так, при динамической подвижке по разлому излучаются интенсивные сейсмические колебания. При более медленных движениях в излучение идет куда меньшая доля энергии.

Проведенный анализ параметров сейсмических событий, зарегистрированных на разных месторождениях, позволил выделить информативные характеристики (приведенная энергия и скорость распространения разрыва), которые можно использовать для классификации участков разлома с различными типами деформирования. Например, на Коробковском месторождении Курской магнитной аномалии получены пониженные значения приведенной энергии в диапазоне значений при скоростях разрыва менее $0.5 C_\beta$ с преобладающими пониженными значениями, где C_β – скорость поперечных волн. Для Хибинского массива значения приведенной энергии и скорости разрыва соответствуют значениям для «нормальных» землетрясений. Выделенные параметры наглядно демонстрируют различные типы деформирования для сейсмических событий, зарегистрированных на двух месторождениях полезных ископаемых. Дополнительное исследование отношения энергии поперечных и продольных волн может дать дополнительную информацию о наличии отрывной компоненты в очаге [2].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 125012200570-5).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Foulger G. R., Wilson M. P., Gluyas J. G. et al.* Global review of human-induced earthquakes // *Earth Sci. Rev.* – 2018. – V. 178. – P. 438–514, – DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.07.008
2. *Kwiatek G., Ben-Zion Y.* Assessment of P and S wave energy radiated from very small shear-tensile seismic events in a deep South African mine // *J. Geophys. Res. Solid Earth.* – 2013. – V. 118. P. 630–3641, DOI: 10.1002/jgrb.50274.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИН МАНТИЙНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ТУРКМЕНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В.Ю. Бурмин, д.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

Три фактора определяют корректность определения координат гипоцентров землетрясений. Это определение времени возникновения землетрясения (время в очаге), скоростная модель среды и метод определения координат гипоцентра землетрясения. Особое внимание в докладе уделено определению глубин мантийных землетрясений.

До недавнего времени одним из самых эффективных методов определения глубины мантийных землетрясений считался метод, основанный на разности прихода P - и pP -волн. В книге Е.Ф. Саваренского и Д.П. Кирноса [1] подробно описан метод определения глубины очага землетрясения по данным удаленных сейсмических станций. Там же отмечается, что отраженная волна pP существует не на всех эпицентральных расстояниях.

В работе Н.А. Введенской [2] отмечается, что «Метод определения глубины очага землетрясений на основании времени прихода отраженных волн pP и sP на удаленные станции ($\Delta > 1700\text{--}2000$ км) известен с 1935 г. и в настоящее время является основным методом определения глубины очага при обработке сейсмических наблюдений над удаленными землетрясениями. При меньших эпицентральных расстояниях отраженные волны pP и sS вообще не могут наблюдаться на поверхности Земли».

Рассматривается задача определения глубины очага землетрясения по годографам сейсмических волн, распространяющихся вверх от источника [3]. При рутинной обработке сейсмологических данных для различных тектонических элементов в качестве скоростных моделей земной коры обычно принимаются модели, полученные по данным глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). Верхняя мантия, как правило, остается не доступной для региональных методов исследований. Поэтому, для определения координат гипоцентров глубоких землетрясений зачастую привлекаются те или иные глобальные модели строения мантии Земли. Так для Копетдагского и Красноводского регионов Туркмении скоростная модель земной коры была продолжена на большие глубины, то есть на верхнюю мантию, путем обращения годографов сейсмических волн, распространяющихся вверх от землетрясений. При этом скоростная кривая ищется в классе монотонных функций. Одновременно с нахождением распределения скорости определяются глубины очагов землетрясений.

Сравнение глубин землетрясений Туркменистана полученных методом обращения годографа от глубинного источника и путем определения координат гипоцентров землетрясений, методом, предложенным ранее автором [4], т.е. двумя независимыми способами, подтверждает существование в этом регионе землетрясений с глубинами до 500 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Саваренский Е.Ф., Кирнос Д.П.* Элементы сейсмологии и сейсмометрии. – М.: Гостехиздат. – 1955. – 543 с.
2. *Введенская Н.А.* Выделение волны sP на записях глубоких землетрясений Средней Азии // Труды геофизического института АН СССР. – № 36. (163). – С. 25–34.
3. *Бурмин В.Ю.* Обращение годографа сейсмической волны, распространяющейся от глубинного источника // Вулканология и сейсмология. – 1988. – № 6. – С. 62–71.
4. *Бурмин В.Ю.* Некоторые обратные кинематические задачи сейсмологии. Теория, эксперименты, результаты. – Москва. «Наука». – 2019. – 276 с.

ОПТИМАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ ТУРКМЕНИСТАНА

**В.Ю. Бурмин, д.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва, Россия**

Современная сейсмологическая сеть Туркмении содержит 26 сейсмических станций. Число станций сети не велико и распределены они на территории Туркмении не равномерно. Большая часть станций расположена на юге и на востоке страны. Поэтому, сейсмологическую сеть Туркмении нельзя назвать эффективной. В разных точках регистрируются землетрясения разного минимального энергетического класса и с разной точностью. Для того чтобы сейсмические события, происходящие в разных точках Туркмении, регистрировались с одинаковой точностью и одного минимального энергетического класса, необходимо, чтобы сейсмические станции системы были расположены более равномерно по всей территории, то есть система наблюдений должна иметь оптимальную конфигурацию.

Расчет минимальных энергетических классов для оптимальной сейсмологической сети Туркмении, состоящей из 25 сейсмических станций, показывает, что при увеличении станций 50 тысяч сеть на всей территории Туркмении могла бы уверенно регистрировать землетрясения энергетического 6.5 класса и больше. При этом, положение сейсмических станций оптимальной сети на территории Туркмении определяется с точностью до параллельного сдвига и произвольного поворота всей системы наблюдения.

Значения ошибок в определении координат эпицентров землетрясений по широте ($\delta\varphi$) (км) и по долготе ($\delta\lambda$) (км), внутри сети не будет превышать 2.0 км и 1.0 км соответственно. Значения ошибок в определении глубин очагов землетрясения (H) (км) системой в центре на всей территории Туркмении не будет превышать 5 км.

Понятно, что существующая сейсмологическая сеть Туркмении так и останется функционировать в неизменном виде, но, чтобы снизить затраты на ее содержание можно ликвидировать те станции, которые не улучшают качество всей сети и попросту дублируют соседние станции. И напротив, может быть следует добавить станции в те места, где имеют место пропуски в регистрации слабых событий. Конечно, в действительности реализовать оптимальную сеть наблюдений практически не возможно по разным причинам. В данном случае этому мешает, прежде всего, география региона. Здесь большинство мест труднодоступны и поэтому не всегда размещение сейсмических станций возможно в точках оптимальной сети. Кроме этого, реализации оптимальной сети в настоящее время мешают межгосударственные границы, хотя было бы полезно иметь в Средней Азии единую сейсмологическую сеть с унифицированной аппаратурой и единой системой обработки сейсмологических данных.

Следует заметить, что расчеты проводились для одинаковых значений увеличения сейсмических станций. На самом деле все станции имеют разные увеличения и реальные поля минимальных магнитуд и погрешностей имеют более изощренную конфигурацию.

Основы теории построения оптимальных сейсмологических сетей, базирующейся на критерии С-оптимальности планов, введенном автором [1], достаточно подробно изложены в работе [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бурмин В.Ю.** Задача планирования эксперимента и обусловленность систем линейных алгебраических уравнений // Изв. АН СССР. Техн. Кибернетика. – 1976. – № 2. – С. 195–200.
2. **Бурмин В.Ю.** Некоторые обратные задачи сейсмологии. Теория, эксперименты, результаты. – Москва, «Наука». – 2019. – 276 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ ТУРКМЕНИСТАНА

**В.Ю. Бурмин, д.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва, Россия**

Достоверность данных о распределении гипоцентров землетрясений и точность их определения во многом зависит от эффективности системы наблюдений. Оценивается эффективность современной сети сейсмологических наблюдений Туркменистана, состоящей из 26 сейсмических станций. Расчеты проводились по методике, изложенной в работе [1]. Эффективность сейсмологической сети наблюдений показывает, с какими минимальными магнитудами или минимальными энергетическими классами регистрируются сейсмические события в рассматриваемом регионе, и с какими минимальными погрешностями определяются основные параметры (время в очаге и координаты гипоцентров) зарегистрированных событий. Расчет минимальных энергетических классов землетрясений для сейсмологической сети Туркменистана показывает, что при увеличении станций 50 тысяч сеть в районе Копетдага способна регистрировать коровые землетрясения 5-го энергетического класса, а на всей территории Туркменистана класса 7.5 и больше при условии, что событие зарегистрировано не менее чем тремя станциями. Значения ошибок в определении координат эпицентров землетрясений в центре сети не превышают 2.0 км по широте и 1.0 км по долготе, а на периферии сети, соответственно, 5 и 3 км. Значения ошибок в определении глубин очагов землетрясения H (км) в центре сети не превышают 5 км, на всей территории Туркменистана – 25 км.

Расчеты минимальных энергетических классов землетрясений и погрешностей в определении координат очагов землетрясений проводились для одинаковых значений увеличения сейсмических станций. На самом деле все станции имеют разные увеличения, и реальные поля минимальных классов и погрешностей имеют более сложную конфигурацию. В тоже время при рассмотрении карты энергетической представительности в работе [2] и в более поздних статьях того же издания обращает на себя внимание конфигурация изолиний, которые близки к окружностям, что явно не соответствует конфигурации сейсмологической сети Туркмении и характеристикам приборов.

При рассмотрении расположений сейсмических станций в Туркмении мы видим, что станции расположены на территории крайне неравномерно. Поэтому в разных точках региона сейсмическая сеть Туркмении регистрирует землетрясения разного энергетического класса и с разной точностью. Для того чтобы система наблюдений регистрировала события, происходящие в разных точках Туркмении, с одинаковой точностью и одним минимальным энергетическим классом, необходимо, чтобы сейсмические станции системы были расположены более равномерно по всей территории, т.е. система наблюдений должна иметь оптимальную конфигурацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бурмин В.Ю.** Некоторые обратные задачи сейсмологии. Теория, эксперименты, результаты. – М.: Наука, 2019. – 276 с.
2. **Петрова Н.В., Абасеев С., Сарыева Г.Ч.** Методы оценки $K_{\min}$ при регистрации землетрясений цифровыми и аналоговыми станциями Туркменистана // Землетрясения Северной Евразии в 2007 году. – Обнинск: ГС РАН. 2013. – С. 458–467.

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ КОСЕЙСМИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ВЕРОЯТНОСТНЫМ МЕТОДОМ

В.В. Быкова, к.ф.-м.н., Р.Э. Татевосян, д.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

Землетрясения оказывают комплексное воздействие на поверхность Земли. Вибрационные воздействия оцениваются в рамках сейсмического районирования и расчета сейсмических воздействий. Они могут задаваться либо в терминах макросейсмической интенсивности, либо в виде спектров реакции или искусственных акселерограмм, описывающих движение поверхности Земли. В принципе, ущерб от них пытаются минимизировать с помощью антисейсмического проектирования и строительства. Кроме этого, важнейшей частью воздействий являются косейсмические деформации. В отличие от вибрационных воздействий, которые теоретически всегда возникают при землетрясении, даже если они ниже порога, который ощущается людьми, косейсмические деформации проявляются при достаточно больших землетрясениях, либо при умеренных приповерхностных очагах. Они бывают двух классов: первичные (образование разрыва, непосредственно связанное с подвижкой в очаге) и вторичные (оползни, камнепады, разжижения грунта, которые связаны с интенсивностью воздействий и наличием соответствующих условий на поверхности).

В работе исследуются первичные косейсмические деформации, т.е. образование разрывов на поверхности, непосредственно связанных с подвижкой в очаге.

Величина смещения при выходе разрыва на поверхность оценивается в рамках вероятностного анализа смещений на поверхности (ВАСП) [1, 2]. Методология аналогична вероятностному анализу сейсмической опасности (ВАСО), который разработан для анализа вибрационных эффектов. Если результатом ВАСО является определение годовой частоты превышения заданного уровня сейсмических воздействий на объект, то результатом ВАСП является годовая частота превышения заданного остаточного смещения на поверхности.

В докладе приводится описание метода ВАСП и рассматривается возможность его применения в областях диффузной (рассеянной) сейсмичности, где данные об активных разломах отсутствуют.

Для учета неопределенностей, связанных с оценкой основных параметров сейсмического режима (сейсмическая активность, наклон графика повторяемости, максимально возможная магнитуда и ее период повторяемости), которые существенно влияют на результаты, в расчетах используется «логическое дерево».

Работа выполнена в рамках государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Moss R.E.S. and Ross Z.E.* Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis for Reverse Faults // Bull. Seismol. Soc. Am. – 2011. – V. 101. – N. 4. – P. 1542–1553. DOI: 10.1785/0120100248
2. *An Introduction to Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis in Site Evaluation for Existing Nuclear Installations:* IAEA TECDOC series, No. 1987. – Vienna: IAEA, 2021. – 144 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЕЙСМИЧНОСТИ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТДЕЛЬНО ВЗЯТОГО ВЗРЫВА НА КАРЬЕРЕ

А.В. Верховланцев
ГИ УрО РАН, г. Пермь

Представленные ранее результаты мониторинга сейсмического воздействия взрывов, проводимых на известковом карьере [1], позволили оценить влияние различных факторов на сейсмический эффект в пунктах наблюдения временной сети стационарных сейсмических станций. Такая оценка выполнялась с помощью параметра $dV = V_{\text{факт}} - V_{\text{ож}}$, характеризующего отклонение фактически измеренных скоростей смещения $V_{\text{факт}}$ от ожидаемых значений, расчет которых учитывал только среднюю скорость убывания амплитуды волны с расстоянием. Данный параметр используется при анализе различных наборов данных, в которых переменной является только анализируемый фактор. Степень влияния рассматриваемого фактора определялась в результате статистической обработки достаточного количества взрывов (определяется опытным путем и зависит от многообразия горнотехнических условий для данного горнодобывающего предприятия).

В работе представлен способ определения коэффициента сейсмичности по данным инструментальных измерений сейсмического эффекта каждого взрыва в отдельности. Для каждого взрывающегося блока строится зависимость скорости смещения от приведенного расстояния, которая аппроксимировалась степенной функцией вида $V = a \cdot R_{\text{пр}}^{-b}$. Показано, что для корректного определения коэффициента сейсмичности, инструментально измеренные скорости смещения должны быть отнормированы к коэффициенту усиления грунтами (минимизировано влияние “site effect”), а величина показателя затухания должна быть определена по всем анализируемым данным и затем зафиксирована.

Таким образом, данный способ позволяет анализировать не ошибки прогноза сейсмического эффекта, а напрямую искать взаимосвязь параметров БВР с коэффициентом сейсмичности. При своевременном анализе такой инструмент (совместно с данными качества дробления) позволяет подбирать параметры БВР таким образом, чтобы увеличить КПД взрыва (уменьшить удельный расход ВВ).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Верховланцев А.В., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Шкурко А.В.* Мониторинг сейсмического воздействия взрывов на карьере «Шахтау» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 2. – С. 59–69. – DOI 10.15372/FTPRPI20190207. – EDN: PQDRTI.

ШКАЛА ЛОКАЛЬНЫХ МАГНИТУД ДЛЯ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

^{1,2}Ф.Г. Верхоланцев, ²Р.А. Дягилев, к.ф.-м.н.

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Шкала локальных магнитуд ML для оценки силы землетрясений на региональных расстояниях была впервые предложена Ч. Рихтером в 1935 году [1]. Она имеет вид:

$$ML = \lg(A_{wa}) + \lg(A_0) \quad (1)$$

где A_{wa} – максимальная амплитуда записи в миллиметрах на горизонтальной компоненте колебаний, полученная на сейсмографе Вуда-Андерсона, а $\lg(A_0)$ – калибровочная функция для условного эталонного землетрясения с $ML=0$. Калибровочную функцию можно рассчитать с использованием выражения следующего вида:

$$-\lg(A_0) = a \lg(R/100) + b(R-100) + 3 + S \quad (2)$$

где R – гипоцентральный расстояние от станции до очага в км, a и b – эмпирические коэффициенты, характеризующие, соответственно, геометрическое расхождение и поглощение сейсмических волн, S – станционная магнитудная поправка. Поскольку калибровочная функция Ч. Рихтера была получена для землетрясений на территории Южной Калифорнии и характеризует затухание волн, в данном регионе, то очевидно, что для других регионов она может быть непригодной.

В пределах Уральского региона сначала для территории Пермского края в 2006 г. [2], а затем в 2015 г. для территории Среднего Урала [3] были получены параметры калибровочной кривой на основе записей станций Уральской региональной сети. Результаты расчетов 2015 г. несмотря на ограниченное количество использованных данных – 245 событий и эпицентральных расстояния до 480 км, с некоторым допущением, применялись в пределах всего Урала в целом.

В настоящей работе были использованы данные наблюдений Уральской региональной сейсмологической сетью за период 2016–2024 гг. Большой объем записей (~5500 событий) позволил определить параметры шкалы в широком диапазоне магнитуд $1.0 < ML < 5.4$ и для гипоцентральных расстояний $1 < R < 700$ км. В итоге были получены следующие коэффициенты: $a=1.291$, $b=9.6 \cdot 10^{-5}$. С учетом станционных поправок S , рассчитанных для 24 станций, общая невязка шкалы составила 0.2 единицы ML . Несмотря на то, что полученные ранее [3] коэффициенты $a=1.299$, $b=4.0 \cdot 10^{-6}$ несколько отличаются, от представленных в данной работе, форма калибровочных кривых фактически совпадает. Таким образом, новая шкала локальных магнитуд полностью подтверждает полученные ранее результаты и уже без всяких допущений может быть использована для расчетов локальной магнитуды в пределах всего Уральского региона.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Richter C.F.** An instrumental earthquake magnitude scale // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1935. – V. 25, N 1. – P. 1–32. DOI: 10.1785/BSSA0250010001
2. **Маловичко Д.А., Иванова Ю.В.** Калибровка шкалы локальных магнитуд ML для Западно-Уральского региона // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 103–107.
3. **Дягилев Р.А.** Шкала ML для Среднего Урала // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 118–122.

СЕРИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2020–2021 ГГ. В РАЙОНЕ ШУМАГИНСКОЙ БРЕШИ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО СЕЙСМОГЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА

^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н., ^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н.

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²ИО РАН, г. Москва

Шумагинская сейсмическая брешь располагалась на восточном фланге Алеутской островной дуги между очагами сильнейших землетрясений 1938 г. с $M=8.3$ и 1946 г. с $M=8.6$. Ее протяженность составляла около 250 км, а сильнейшие землетрясения с $M\sim 8$ не происходили здесь на протяжении как минимум 120 лет [1,2]. «Сейсмическое молчание» этой зоны было прервано в 2020–2021 гг. серией трех сильных землетрясений. Первое из них, названное впоследствии Симеоновским, произошло 22.07.2020 г. Его магнитуда составила $M_w=7.8$, а тип механизма был определен как пологий надвиг с падением в сторону континента, что соответствует условиями сжатия, типичным для зон субдукции. Три месяца спустя, 19.10.2020 г. в том же районе произошло еще одно достаточно сильное событие с $M_w=7.6$, названное Странным, характеризующееся сдвиговым механизмом. Последнее и самое сильное событие из серии – землетрясение Чигник с $M_w=8.2$, произошло 29.07.2021 г. немного восточнее Шумагинской бреши и имело механизм типа пологий надвиг, как и Симеоновское землетрясение 2020 года.

В работе проведен комплексный анализ обширного набора спутниковых геодезических, сейсмологических и геологических данных, который позволил определить геометрию поверхностей разрыва и построить модели распределенных подвижек в очаговых зонах.

Длительное отсутствие в районе Шумагинской бреши событий с $M\sim 8.0$ дало основание предполагать, что в этой части субдукционной зоны происходит асейсмическое скольжение погружающейся Тихоокеанской плиты, не сопровождающееся накоплением упругих напряжений [3]. Для подтверждения или опровержения этого предположения было выполнено моделирование распределения межплитового сцепления в восточной части Алеутской зоны субдукции. Установлено, что перед серией сильных землетрясений 2020–2021 гг. в пределах Шумагинской бреши присутствовали области, в которых коэффициент межплитового сцепления достигал максимальных значений.

И наконец, в результате исследования пространственных и энергетических отношений очагов произошедших землетрясений и предсейсмического межплитового сцепления в границах Шумагинской бреши было показано, что во время событий 2020–2021 гг. высвободилась лишь часть упругих напряжений, накопленных в пределах Шумагинской бреши с начала XX в.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Davies J., Sykes L., House L., Jacob K.* Shumagin seismic gap, Alaska Peninsula: history of great earthquakes, tectonic setting, and evidence for high seismic potential // *J. Geophys. Res.* – 1981. – V. 86, N B5. – P. 3821–3855.
2. *Nishenko S.P., Jacob K.H.* Seismic potential of the Queen Charlotte-Alaska-Aleutian seismic zone // *J. Geophys. Res.* – 1990. – V. 95. – P. 2511–2532.
3. *Fournier T., Freymueller J.* Transition from locked to creeping subduction in the Shumagin region, Alaska // *Geophys. Res. Lett.* – 2007. – V. 34. – N. L06303. – P. 1–5.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ СЕЙСМОГЕНЕЗА НА ГРАНИЦЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ И СУБОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ ВНУТРЕННИХ БАССЕЙНОВ (НА ПРИМЕРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ)

Ю.М. Вольфман д.г.-м.н., Е.Я. Колесникова
Институт сейсмологии и геодинамики, г. Симферополь

Сейсмичность Каспийского моря и прилегающих территорий контролируется зонами активных разломов в основном западно-северо-западного (общекавказского) простирания. Наиболее протяженная из этих зон локализована вдоль фронтальной системы Кавказского орогена, протягиваясь от сооружений Большого Кавказа и сопряженного с ним Терско-Каспийского прогиба до Копетдага вдоль Апшероно-Прибалханской зоны поднятий, разграничивающей Средне- и Южно-Каспийскую впадины. Последняя из них характеризуется небольшими (22–30 км) глубинами залегания раздела Мохо, что позволяет отнести ее к бассейнам субокеанического типа с редуцированной земной корой [1].

Результаты анализа фокальных механизмов землетрясений Большого Кавказа-Копетдага показали, что формирование регионального сейсмогенеза было обусловлено, главным образом, периодически сменяющимися друг друга – инверсионными – кинематическими обстановками сжатия и растяжения, действующими в юго-юго-западном–северо-северо-восточном направлении [2]. Изменения (инверсии) обстановок происходили, большей частью, в течение коротких (менее 1 года) временных интервалов.

Обстановки сжатия (в том числе, транспрессии) в количественном и энергетическом отношении являются доминирующими: соответствующие им очаги землетрясений локализованы, в основном, в континентальной части региона. Они являются прямыми индикаторами процессов орогенеза, взбросо- и надвигаобразования, активно и повсеместно проявляющихся в районах Большого Кавказа и Копетдага.

В несколько меньшей мере, но весьма интенсивно, проявились противоположные обстановки – растяжения (и транстенсии) коры в юго-юго-западном–северо-северо-восточном направлении. Очаги землетрясений, обусловленные этими обстановками, сосредоточены, главным образом, в акватории Каспийского моря, на границе областей с корой континентального и субокеанического типа, где они в количественном и энергетическом отношении преобладают над очагами, сформировавшимися в условиях сжатия. Местоположение, количество и энергетические характеристики очагов растяжения (и транстенсии) являются прямым указанием на продолжающиеся в настоящее время процессы деструкции коры в северном борту котловины с корой субокеанического типа – Южно-Каспийской впадины.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания (код научной темы: FZEG – 2024 0016)).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 342 с. – ISBN 5-8365-0184-X.
2. Вольфман Ю.М., Колесникова Е.Я. Некоторые особенности сейсмотектоники Каспийского региона // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XIV. М.: ИИЕТ РАН, 2024. – С. 228–233. – DOI: 10.25744/1.2024.25.45.031

ИССЛЕДОВАНИЕ РОЕВ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

И.П. Габсатарова, Л.Н. Королецки, З.В. Стволина
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Исследование сейсмического режима территорий предполагает выделение и анализ группирования сейсмических событий, как в пространстве, так и во времени. Арефьевым С.С. [1] были предложены формальные критерии для выделения следующих типов поведения сейсмичности: единичные землетрясения, форшоковые последовательности, рои землетрясений и афтершоковые последовательности. На материалах регионального каталога Кавказа с 1960 по 1991 г. было установлено, что рои, реализующиеся в месячный срок, составляют примерно 18 % от всего числа землетрясений за этот период. В последующие периоды число роевых событий ежегодно достигает 15 % от общего числа землетрясений.

В [2] высказано мнение, что землетрясения, объединяющиеся в рой, представляют собой генетически однородную группу событий и вызваны, вероятно, одной внешней причиной растрескивания среды на всех иерархических уровнях. Таким образом, следует предположить, что общий генезис должен проявиться в значительном подобии сейсмических записей событий входящих в рой.

В юго-восточной части Ставропольского края ранее неоднократно отмечались рои слабых землетрясений в 2003, 2008 гг., условно названные «Моздокскими», однако положение их эпицентров, по уточненным данным с использованием программы hypoDD [3], показало, что они находятся в 42–47 км к северо-западу от Моздока, вблизи русла р. Куры, протекающей на юго-востоке Ставропольского края. В феврале, а затем в ноябре и декабре 2024 г. сетью региональных станций Северного Кавказа в названном районе зарегистрировано около 60 событий, эпицентры которых располагались вблизи ранее выделенных роев. Для их классификации, проведено исследование, направленное на установление степени подобия записей. Исследование проводилось с использованием кластерного анализа с построением иерархических дендрограмм тремя методами установки связи.

В ходе работ составлен набор скриптов, реализуемых в программном комплексе для сейсмологов «ObsPy» [4], в состав которых вошли: выборка фрагментов записей с серверов по адресу из архивных серверов; графическое изображение сейсмограмм; фильтрация записей; построение огибающих записей; построение матриц взаимной корреляции записей и их огибающих с использованием коэффициентов взаимной корреляции и взаимных попарных расстояний; построение дендрограмм связи различными методами и их графическое изображение и пр.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арефьев С.С.* Форшоки, афтершоки и рои землетрясений // Физика Земли. – 2002. – Т. 1. – С. 60–77.
2. *Солоненко Н.В., Солоненко А.В.* «О природе афтершоковых последовательностей и роев землетрясений в Байкальской рифтовой зоне» // Докл. АН СССР, 290:1 (1986). С. 85–88.
3. *Waldhauser F.* hypoDD – A program to compute double-difference hypocenter locations // U.S. Geological Survey Open File Report 01-113. – 2001. – 25 p.
4. *Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., Megies, T., Behr, Y., and Wassermann, J.* ObsPy: A Python Toolbox for Seismology // Seismological Research Letters. – 2010. 81 (3). С. 530–533.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПЕРЕИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВЯЗИ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ

^{1,2}Н.К. Гайдай, к.г.-м.н.

¹ФГБОУ ВО СВГУ, г. Магадан

²ФГБУН СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

В настоящее время вопрос доверия к искусственным нейросетям в научном анализе продолжает вызывать дискуссии. Но возможности, получаемые при использовании новых технологий, впечатляют. В последние годы нейросети активно применяются в различных областях геофизики. Они уже используются для автоматической интерпретации сейсмических изображений, что позволяет ускорить и повысить точность анализа. Нейросети применяются для инверсии акустического импеданса и других параметров, что улучшает качество интерпретации и снижает неопределенности. Реализуются крупные проекты (например, GEMA), которые направлены на использование искусственного интеллекта для создания высокоточных карт и улучшения интерпретации геологических и геофизических данных [1].

На сегодня накоплен большой объем количественной геофизической информации, которая может быть интерпретирована по новому с использованием искусственного интеллекта (ИИ). В рамках данной работы проведено сравнение результатов установления связи особенностей глубинного строения с сейсмичностью, полученных ранее, и результатов автоматической обработки, выполненной с помощью искусственной нейросети.

Анализ, проведенный с использованием ИИ, включал построение тепловых карт аномалий поля силы тяжести и абсолютной плотности, выделение зон разуплотнения, совмещение данных о гипоцентрах землетрясений с выявленными аномалиями. Нейросетью были построены разрезы вдоль заданного профиля, а расчет модуля горизонтального градиента плотности позволил детально отразить зоны активной тектонической деформации. При автоматизированной обработке с использованием ИИ применялась интерполяция исходных данных в регулярную сетку, расчет градиентов по производным с последующим сглаживанием.

Сравнение результатов, полученных ранее и полученных с помощью ИИ, показал, что при существенной экономии времени (неделя прежней работы против нескольких минут нейросетевого анализа) качественные выводы о плотностной структуре земной коры и ее тектонических особенностях остались сопоставимыми.

Дополнительно была проведена проверка корреляций между величиной аномалий, абсолютной плотностью, модулем градиента плотности и характеристиками землетрясений (глубина и класс событий). Подтверждено, что распределение гипоцентров землетрясений четко связано с зонами максимальных изменений плотности, однако глубина и сила событий не коррелируют с этими характеристиками. Это подтверждает контроль распределения землетрясений структурами земной коры.

Применение искусственных нейросетей в интерпретации геофизических данных позволяет не только ускорить анализ, но и повысить объективность интерпретации, выявляя ранее незамеченные особенности в распределении свойств среды. Такие подходы открывают новые перспективы в комплексных геолого-геофизических исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Xcalibur Multiphysics. Integration of Artificial Intelligence in Geophysical Data Interpretation.* URL: <https://xcaliburmp.com/gema-integration-of-artificial-intelligence-in-geophysical-data-interpretation> (дата обращения 25.04.2025 г.)

РАЗВИТИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В РАЙОНЕ ЧАРСКОЙ ВПАДИНЫ В 1962–2023 ГГ. (БАЙКАЛЬСКАЯ РИФТОВАЯ ЗОНА)

¹Н.А. Гилёва, ^{1,2}В.И. Мельникова, д.г.-м.н., ³А.И. Филиппова, к.ф.-м.н.

¹Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н.

¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

³ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

Чарская впадина, ограниченная с северо-запада и юго-востока Кодарским и Удоканским хребтами, располагается в осевой части Кодаро-Удоканского сводово-глыбового поднятия и является одной из крупных структур северо-восточного фланга Байкальского рифта. На востоке Кодаро-Удоканский блок контактирует с западным сегментом Олекмо-Становой сейсмотектонической зоны (Алдано-Становой блок). Последний характеризуется сложным взаимодействием основных краевых швов и переходных тектонических зон, к которым приурочена повышенная сейсмическая активность и целый ряд катастрофических землетрясений [1].

Обширный сейсмологический материал, включающий палеосейсмологические и инструментальные исследования рассматриваемой территории, активно используется при решении научных и прикладных задач. Полученные результаты особенно актуальны при строительстве и эксплуатации таких ответственных инженерных сооружений, как трасса Байкало-Амурской магистрали, а также при разработке крупнейших месторождений полезных ископаемых.

Постоянно пополняемая база сейсмологической информации позволяет уточнять представления о сейсмической опасности рассматриваемой территории, в связи с чем в данной работе обсуждаются результаты анализа сейсмических проявлений за период 1962–2023 гг. Пространственно-временной ход сейсмического процесса в это время показал неравномерную сейсмическую активность трех главных неотектонических структур: Кодарского и Удоканского хребтов, а также Чарской впадины. В пределах этих структур произошел ряд сильных сейсмических событий ($M=5.0-6.2$), макросейсмические эффекты которых наблюдались на обширной территории, при этом количество выделившейся суммарной сейсмической энергии в районе Чарской впадины ($\Sigma E=14 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$) на порядок превышало значения этих величин в Кодарском и Удоканском хребтах. Если рассматривать энергетический вклад в сейсмический потенциал района наиболее крупных палеоземлетрясений, произошедших сотни лет назад, то в Кодарском хребте суммарная энергия таких событий составила $\sim \Sigma E=180 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$, а в Удоканском – $\Sigma E=80 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$. Это в значительной степени превышает уровень сейсмической активности района в последние десятилетия ($\Sigma E=23 \cdot 10^{14} \text{ Дж}$), когда скорость высвобождения сейсмической энергии, с учетом её кумулятивных значений, составила $\sim 0.4 \cdot 10^{14} \text{ Дж/год}$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сейсмичность и сейсмогеология Восточной Сибири (отв. ред. Г.П. Горшков)*. – М.: Наука. – 1977. – 230 с.

ПОСТСЕЙСМИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА

¹Э.М. Горбунова, д.г.-м.н., ¹С.М. Петухова, к.ф.-м.н.,
¹Н.В. Кабыченко, к.т.н., ^{1,2}А.В. Караваев, ^{1,2}А.Ю. Федоров

¹ИДГ РАН, г. Москва

²АО «Комбинат КМАруда», г. Губкин

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых сопровождается изменением гидрогеодинамической обстановки. По данным Центра государственного мониторинга состояния недр РФ площадь Губкинской депрессионной воронки в районе Курской магнитной аномалии (КМА) в 2021 г. составляла 1 тыс. км² в зоне развития архей-протерозойского водоносного комплекса [1]. За период наблюдений 1990–2009 гг. снижение уровня подземных вод достигло 10 м. С 2010 г. по настоящее время отмечена относительная стабилизация техногенно-нарушенного режима архей-протерозойского комплекса. Тем не менее, по результатам экспериментальных измерений в скважинах, оборудованных высокоточными гидростатическими датчиками, зарегистрированы косейсмические вариации давления в системе «пласт-скважина» при проведении промышленных взрывов в шахте Коробковского месторождения и Лебединском карьере, и прослежены эпизодические постсейсмические изменения уровня архей-протерозойского водоносного комплекса [2].

По результатам обработки сформированной базы синхронных измерений сейсмических, гидрогеологических и барометрических параметров в двух пунктах наблюдений, оборудованных аппаратурно-измерительными комплексами, установлены эмпирические зависимости между косейсмической вариацией порового давления в системе «пласт-скважина», массовой скоростью смещения грунта и приведенным расстоянием. Максимальное постсейсмическое снижение уровня архей-протерозойского водоносного комплекса до 20 см зарегистрировано при разработке одной из камер Коробковского месторождения, расположенной ниже по направлению подземного потока относительно наблюдательной скважины на приведенном расстоянии 64 м/кг^{1/3}. Отмеченные изменения уровня подземных вод свидетельствуют о разных режимах деформирования водонасыщенных коллекторов, вскрытых в наблюдательных скважинах. Косейсмические гидрогеологические отклики соответствуют динамической реакции обводненной толщи на прохождение сейсмических волн от промышленных взрывов. Постсейсмические эффекты обусловлены необратимым статическим деформированием коллектора и связаны с оттоком подземных вод на заполнение зон техногенной трещиноватости, сформированной при проведении промышленных взрывов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 году*. ФГБУ «Гидроспецгеология». – 2022. – Вып. 45. – 414 С.
2. *Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Батухтин И.В., Петухова С.М.* Постсейсмические эффекты массовых взрывов, выделенные при разработке железорудных месторождений КМА // *Динамические процессы в геосферах*. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 51–68. – DOI: doi.org/10.26006/22228535_2022_14_1_51
3. *Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Филиппова А.И.* Оценка интенсивности сейсмических колебаний на Байкало-Олекминском участке Байкало-Амурской железнодорожной магистрали // *Тихоокеанская геология*. – 2024. – Т. 43, № 4. – С. 69–79. – DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-4-69-79

КАРТИРОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР МЕТОДАМИ МАЛОГЛУБИННОЙ ГЕОФИЗИКИ

^{1,3}Н.Н. Гриб, д.т.н., ¹Г.В. Гриб, к. г.-м.н,

²И.И. Колодезников, д.г.-м.н.

¹ТИ (ф) СВФУ, г. Нерюнгри

²АН РС(Я), г. Якутск

³ФГБОУ ВО ТОГУ, г. Хабаровск

Тектонические нарушения углепородного массива являются одним из наиболее распространенных геологических факторов, которые осложняют проведение горных работ. Кроме того, они являются сейсмогенерирующими структурами как при природной, так и при техногенной сейсмичности [1].

Локализация выходов тектонических нарушений под четвертичные отложения проводилась геофизическими методами: электротомографией и сейсморазведкой в модификации КМПВ. Исследования выполнены на шахтном поле Верхен-Талуминского месторождения Южно-Якутского бассейна.

Принципы выделения тектонических нарушений при комплексной геолого-геофизической интерпретации: выделение значимых аномалий производится путем неоднократных перекрестных сопоставлений геофизических разрезов – сопоставление разных методов в пределах одного профиля; сопоставление разрезов по отдельным методам между профилями (два разных вида сопоставлений – по числу геофизических методов); сопоставление положения аномальных точек, выделенных в предыдущие этапы увязки разрезов.

Основными факторами при выделении аномальных точек являлись: низкие значения распространения упругих волн, низкие значения удельных электрических сопротивлений, морфологическая схожесть аномалий на геофизических разрезах. Эти точки выносятся на топографическую основу изучаемого участка и используются при дальнейшей интерпретации.

Второй этап комплексной интерпретации – обработка групп профилей. По группам профилей была произведена увязка аномалий, соответствующих прогнозным тектоническим нарушениям. Увязка аномалий между профилями производилась исходя из признаков схожести следующих параметров: интенсивность аномалий, морфология аномальных проявлений по методам, взаимное расположение аномалий. Следует заметить, что увязка корректируется на топографическом плане с учетом геоморфологических признаков. По результатам комплексной интерпретации групп профилей строится план интерпретации геофизических данных, с вынесенными линиями прогнозных тектонических структур. Помимо линий прогнозных тектонических структур, на план интерпретации вынесены метки аномалий второго порядка – в этих точках по профилям наблюдаются аномалии, сходные с аномалиями прогнозных нарушений, но выраженные не столь отчетливо. Не исключено, что в этих точках профилями пересечены малоамплитудные разрывные нарушения, зоны трещиноватости или иные неоднородности разреза, отраженные в геофизических полях.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 24-17-20031).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гриб Н.Н.* Техногенная сейсмичность и ее воздействие на окружающую среду при добыче угля в Южной Якутии / Гриб Н.Н., Гриб Г.В., Пазынич А.Ю. – Пенза: Научно-издательский центр «Социосфера», 2022. – 198 с. – DOI: 10.38006/91990-160-0.2022.1.198

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕТОДОМ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

П.В. Громыко
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Россия обладает одной из крупнейших железнодорожных сетей в мире. Протяженность сети железных дорог составляет более 80000 км. Одним из основных элементов контактной сети являются опоры, состоящие из железобетонных или металлоконструкций, которые сохраняют положение контактной подвески над железнодорожными путями, вследствие чего осуществляется передача электроэнергии подвижному составу и надежность токосъема. На сегодня срок эксплуатации большого количества опор контактной сети составляет более 40 лет. При учете того, что максимальный срок эксплуатации по нормативно-технической документации 50 лет [1], создается риск возникновения аварийных ситуаций, которые могут привести к обесточиванию сетей либо к транспортным происшествиям вследствие обрушения металлоконструкций на железнодорожные пути.

Сложившаяся ситуация такова, что замена всех железнодорожных опор с высоким сроком эксплуатации является дорогостоящей и нецелесообразной. Поэтому на сегодняшний день замена производится выборочно с учетом оценки опор по степени дефектности. Для этого используют традиционные методы обследования контроля их целостности, включающие визуальные, акустические, радиоволновые, электрохимические способы диагностики и прочие [2]. Вышеупомянутые методы, как правило по отдельности имеют существенные минусы и требуют комплексного использования. Поэтому разработка новых методов обследования и мониторинга целостности состояния железнодорожных опор является актуальной задачей.

В результате исследования, проведенного на объектах железнодорожной инфраструктуры г. Новосибирска, разработана технология позволяющая по данным значений собственных частот колебаний железнодорожных конструкций производить оценку их технического состояния во время их эксплуатации. Определено, что по мере развития дефекта в конструкции железнодорожных столбов изменяется амплитудно-частотный состав спектров зарегистрированных колебаний. Показано, что по мере развития дефекта на железнодорожном столбе изменяется значение частоты колебаний основной и кратных ей мод, появляются колебания с частотами отличными, но близкими по значению к модам собственных колебаний. При рассмотрении спектров колебаний полностью дефектного столба, наблюдается полное изменение амплитудно-частотного состава записи, связанного с изменением химико-физических свойств конструкции.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ Р 54270-2010** Стойки для опор контактной сети железных дорог. Общие технические условия. – Введ. 2011-09-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 42 с.
2. **Подольский В.И.** Железобетонные опоры контактной сети конструкция, эксплуатация, диагностика. М.: Интекст, 2007. – 152 с.

ОСЕТИНСКИЙ СЕКТОР БОЛЬШОГО КАВКАЗА: ГЕОДИНАМИКА И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

^{1,2,3}Б.А. Дзедобоев, д.ф.-м.н., ^{1,2}А.Д. Гвишиани, академик РАН,

^{1,2,4}В.Н. Татаринев, чл.-кор. РАН, ^{1,3}Б.В. Дзеранов, к.г.-м.н

¹ГЦ РАН, г. Москва

²ИФЗ РАН, г. Москва

³НИТУ МИСИС, г. Москва

⁴ВНЦ РАН, г. Москва

Большой Кавказ представляет собой сложную геологическую структуру с выраженной геодинамической активностью. Его Центральный сектор, в частности, Республика Северная Осетия–Алания, является зоной активного хозяйственного и туристического освоения, включающей строительство значимых инфраструктурных объектов [1]. Повышенные риски, связанные с сейсмической опасностью региона, требуют всесторонних и комплексных исследований геодинамических процессов, оценки напряженно-деформированного состояния и его взаимосвязи с сейсмичностью [2].

В рамках геодинамических исследований выполнен системный анализ вертикальных и горизонтальных современных движений земной коры Большого Кавказа. Анализ современного этапа геодинамики Кавказа свидетельствует о существенном влиянии напряжений, создаваемых взаимодействием Аравийской и Евразийской плит. Это обуславливает региональные вариации скоростей вертикальных движений и формирует участки с высокими кулоновскими напряжениями, способные инициировать землетрясения. Важным практическим результатом работы стало создание интегрированного каталога землетрясений Осетинского сектора, который объединяет данные различных источников и позволяет существенно повысить полноту и качество сейсмологических данных [3].

Проведенные исследования подтверждают, что центральная часть Большого Кавказа представляет собой сложную деформированную зону с доминирующим влиянием вертикальных движений. На основе полученных данных предложена геодинамическая модель современного этапа деформирования Кавказа, в рамках которой интенсивные вертикальные подвижки объясняются взаимодействием тектонических блоков и давлением Аравийской плиты. Геодинамическая интерпретация, основанная на анализе современных движений и их корреляции с сейсмическими событиями, является эффективным инструментом для прогнозирования и оценки сейсмической опасности Осетинского сектора Большого Кавказа. Дальнейшие исследования будут направлены на углубленное изучение взаимосвязей между разломной тектоникой, НДС и сейсмичностью, а также на разработку практических рекомендаций по снижению ущерба от землетрясений в регионе.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 23-17-00176.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзеранов Б.В., Гвишиани А.Д., Дзедобоев Б.А., Заалишвили В.Б., Саяпина А.А., Мельков Д.А., Габараев А.Ф., Фоменко Н.А. Сейсмичность и оценки сейсмической опасности Осетинского сектора Большого Кавказа. Обзор // Russian Journal of Earth Sciences. – 2025. – №. 1. DOI: <https://doi.org/10.2205/2025ES000959>.
2. Татаринев В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И., Дзедобоев Б.А., Дзеранов Б.В., Авдонина А.М., Лосев И.В., Королькова А.А. Новейшая тектоническая эволюция Кавказа: современные вертикальные движения и механизм деформирования земной коры // Физика Земли. – 2024. – № 4. – С. 76–99. DOI: 10.31857/S0002333724040068. EDN: FWTYBY.

НОВЫЙ СЕРВИС ДОСТУПА К СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ АНАЛОГОВОЙ ЭПОХИ РЕГИСТРАЦИИ

Р.А. Дягилев, к.ф.-м.н., А.В. Михайлова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Записи сильных землетрясений всегда представляли особый интерес ввиду их востребованности и высокой практической ценности при проектировании зданий и сооружений. Такие записи имеют наивысший приоритет по отношению к искусственным и синтетическим сейсмограммам. В свете новых цифровых технологий обработки данных аналоговые записи сильных землетрясений после оцифровки могут получить вторую жизнь. На сегодняшний день доля записей сильных землетрясений, хранящихся в аналоговых архивах, пока что превалирует, и этот существенный пласт данных необходимо использовать.

Не смотря на то, что цифровая эпоха на сети опорных сейсмических станций РФ началась в начале 90-х гг. XX века, полностью цифровой сеть стала только в 2016 году. Объем цифровых записей, имеющихся в архивах ФИЦ ЕГС РАН, сравнялся с объемом аналоговых лишь в 2020 году. На конец 2024 г. доля аналоговых данных составляет около 44 %, однако по продолжительности временного интервала аналоговая эпоха, стартовавшая в 1902 г., по-прежнему значительно превосходит цифровую.

В последнее время интерес к старым инструментальным записям растет во всем мире. ФИЦ ЕГС РАН поддерживает эту тенденцию. В частности в период с 2020 по 2024 год, в рамках одного международного проекта было оцифровано более 800 трехкомпонентных записей мирных ядерных взрывов, проводившихся на территории СССР с 1965 по 1885 гг. [1]. В данном проекте были задействованы записи с 95 станций на территории РФ, но оцифровано было не более 5 % от всего доступного материала. Аналогичная работа велась также в странах ближнего зарубежья (Казахстан, Кыргызстан) [2]. За это время технические возможности ФИЦ ЕГС РАН по восстановлению и сохранению наследия эпохи аналоговой регистрации существенно выросли: в каждом хранилище появились высокопроизводительные широкоформатные сканеры, задействованы дополнительные ресурсы систем хранения цифровых данных, разработана и внедрена технология оцифровки аналоговых сейсмограмм и их метаданных [1, 2]. Заключительным этапом данной работы стала полная проверка и публикация оцифрованных сейсмограмм.

Важной составляющей этого процесса является предоставление удобного доступа к цифровым данным, построенного на современной технологической основе (FDSN). Так как значительная часть отсканированных аналоговых записей не оцифрована, дополнительно разработан сервис доступа к историческим материалам в виде растров. В основе сервиса лежит постоянно пополняемая база данных, содержащая не только растры в высоком разрешении, но и все метаданные действовавших в то время сейсмических станций. Внешнему пользователю предоставляется возможность найти и скачать нужную запись, задавая только время события и станцию. При отсутствии растра в базе данных формируется заказ на сканирование (оцифровку). Внутреннему пользователю сервис предоставляет более широкие возможности, позволяя дополнительно организовать удобный способ пополнения и проверки поступающих данных.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дягилев Р.А., Бутырин П.Г., Мяки К., Бурк Д., Бурхард К., Уилер Б., Уитт К., Добрынина А.А. Оцифровка сейсмограмм мирных ядерных взрывов // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 28–40. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.1.02>
2. Рябенко П.В., Соколова И.Н. Результаты внедрения новой технологии оцифровки исторических сейсмограмм в Центре данных. Вестник НЯЦ РК. – 2023. – Вып. 1. – С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-61-68>

20 ЛЕТ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Осенью 2005 г. в г. Осинники Кемеровской области стартовал первый в Западной Сибири эксперимент по изучению техногенной сейсмичности с помощью локальной сети сейсмических станций [1]. За прошедшие с тех пор 20 лет в Кузбассе и Новосибирской области выполнены многолетние исследования более 10 техногенных сейсмических активизаций, возникающих при шахтах и разрезах в процессе добычи твердых полезных ископаемых. Детальность таких работ достигала 30–40 пунктов наблюдения на участке 10х10 км [2].

Необходимо отметить, что разработки угля и железной руды в Западной Сибири ведутся в районах, где известны сильные тектонические землетрясения (Новокузнецкие в Кузбассе в 1898 и 1903 гг. с магнитудами 5.7 и 6.1 соответственно, Бердское в Новосибирской области в 1882 г. с магнитудой 5.7). Судя по всему, регистрируемые сейсмические активизации следует относить к триггерному подвиду техногенной сейсмичности, когда воздействие человека на среду позволяет реализоваться напряжениям, накопленным в ходе естественных процессов. Особую актуальность обретает вопрос вклада техногенной составляющей в сейсмическую опасность региона в сравнении со вкладом сейсмичности исключительно природного происхождения.

Исследования показали, что одним из наиболее значимых факторов является перемещение больших масс горной породы. Наиболее крупные техногенные землетрясения в Кузбассе фиксировались в районе угледобывающих разрезов: «Бачатский» ($M_L=6.1$, 2013 г.) [3], «Калтанский» ($M_L=4.1$, 2016 г.), «Краснобродский» ($M_L=4$, 2018 г.), «Талдинский» ($M_L=5.6$, 2021 г.), а также в разрезе «Колыванский» в Новосибирской области ($M_L=4.6$, 2023 г.). При этом энергия техногенных землетрясений коррелирует с масштабами перемещаемых масс, и потому магнитуды землетрясений, сопровождающих добычу угля в шахтах, не превышают $M_L=3$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В.** Экспериментальное исследование наведенной сейсмичности в Кузбассе // Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в области сильного техногенного воздействия / Отв. ред. Н.Н. Мельников. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – Разд. V. – С. 426–459.
2. **Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Ситников В.В., Лескова Е.В., Корабельников Д.Г., Дураченко А.В.** Мониторинг наведенной сейсмичности в Кузбассе // Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. – Т. 1. – С. 419–439.
3. **Еманов А.А., Еманов А.Ф., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Ребецкий Ю.Л.** Объемная структура афтершоковой области Бачатского землетрясения (Кузбасс) и напряженное состояние недр под разрезом // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64, № 12. – С. 1742–1750.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЪЕКТЫ ФГУП ГХК (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

¹А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ²И.В. Шевченко, ²Е.Е. Матвеев,
¹П.О. Полянский, к.г.-м.н., ¹А.А. Бах, ¹Н.А. Сережников, ¹Е.А. Гладышев,
¹В.В. Арапов, ¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н.
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, Новосибирск
²ФГУП «ГХК», г. Железногорск

Горно-химический комбинат (ФГУП ГХК) – крупнейший в Сибири объект атомной энергетики и градообразующее предприятие г. Железногорска (Красноярский край). Объект находится в 7-балльной области возможной интенсивности землетрясений. При этом для контроля безопасности особо-ответственных объектов атомной энергетики ключевой задачей становится мониторинг воздействий сейсмотектонических процессов на условия хранения радиоактивных отходов [1]. С использованием данных региональной сети АСФ ФИЦ ЕГС РАН выполнено детальное изучение характеристик воздействий от ощутимых землетрясений в очаговых зонах до 300 км и оценка воздействий от крупных далеких землетрясений на объект. Максимальная сотрясаемость на площадке (4.5 балла) была вызвана Хубсугульским землетрясением (11.01.2021 г., $M_L=6.9$). Методом частотно-волнового анализа по записям малоапертурной сейсмической группы определены эпицентры локальных сейсмических событий и источники техногенного шума в радиусе 30 км от площадки ГХК [2].

По построенным скоростным моделям среды рассчитано приращение интенсивности (ΔI) сейсмических воздействий на площадки хранилищ РАО. Так на площадке бассейна 354 а получено значение ΔI по продольным волнам на 1.4–1.8 балла, по поперечным волнам - на 1.2–1.6 балла относительно воздействий на эталонный грунт. Для грунтов в районе дамб хранилищ 365 и 366, получены значения $\Delta I=0.8$ –1 балл по данным P -волн и 0.8–1.2 балла по данным S -волн. Более низкие величины приращения интенсивности в зоне хранилищ 365 и 366, обусловлены меньшей мощностью осадочного слоя (10–15 м против 30 м).

При районировании площадок хранилищ РАО методом стоячих волн выделены две моды собственных колебаний грунта основания и дамб хранилищ РАО 365 и 366. При этом на частоте 8.5 Гц в горизонтальном направлении, перпендикулярном берегу р. Енисей, не наблюдается усиления колебаний. На частоте 15 Гц усиление колебаний дамб бассейнов в этом же направлении в ~2 раза. В вертикальном направлении зафиксировано усиление колебаний дамб бассейнов в 4 раза на частоте 8.5 Гц, также в 4 раза увеличивается амплитуда колебаний грунтовой площадки на частоте 15 Гц. В направлении вдоль берега р. Енисей не зафиксировано резонансных колебаний ни грунтов площадки, ни дамб бассейнов.

Также были исследованы собственные колебания здания изотопно-химического завода. Для бассейнового блока выделено 4 формы продольных и 4 формы вертикальных колебаний. Прослежены 5 форм поперечных, 2 формы продольных и одна - вертикальных колебаний административного блока здания. Установлено, что на частоте 2.63 Гц происходят собственные как поперечные, так и вертикальные колебания бассейнового блока, а на частоте 3.66 Гц – административной части. Кроме того, на частоте 2.63 Гц зафиксированы резонансные поперечные колебания здания как единого целого. Собственные частоты здания и грунтов верхней части разреза не совпадают, а значит резонансные колебания системы грунт-здание отсутствуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андерсон Е.Б., Белов С.В., Камнев Е.Н., Колесников И.Ю., Лобанов Н.Ф., Морозов В.Н., Татарinov В.Н.* Подземная изоляция радиоактивных отходов. – М.: Изд-во «Горная книга». – 2011. – 592 с.
2. *Еманов А.А., Еманов А.Ф., Матвеев Е.Е. и др.* Обработка данных локальной сейсмической группы для изучения сейсмических событий и шумов в районе г. Железногорска Красноярского края // В кн.: Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы. – Обнинск, 2021. – 34 с.

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ОЧАГОВЫХ ЗОН АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

**А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.А. Гладышев, Е.В. Шевкунова, А.В. Фатеев,
П.О. Полянский, В.В. Арапов, А.И. Артемова**
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Рассматриваются закономерности формирования и развития очаговых зон Алтае-Саянской горной области, структура активизированной области, сейсмичность до сильного землетрясения и развитие сейсмического процесса после. Пересмотр взглядов на сейсмичность очаговых зон осуществляется на основе современной информации, полученной по данным развивающейся сети станций и экспериментов с плотными сетями временных станций. На примерах изучения очаговых областей землетрясений: Чуйского 2003 г., Бусингольского, Хубсугульского 2021 г., Тувинских 2011–2012 гг., Цаган-Шибэтинского и др. показано, что развитие сейсмичности очаговых зон протекает как многоактный, длительный процесс, который состоит из серий событий, инициирующих новые витки в развитии сейсмичности очаговой области [1, 2]. Такие особенности развития сейсмичности очаговой области соответствуют взглядам на существование в афтершоковом процессе эпохи Омори и после периода бифуркации перехода очага землетрясения из одного состояния в качественно другое [3].

Рассматривая вопрос об изменении относительно друг друга сейсмической активности очаговых зон региона, выявлены значимые различия в реакции на крупные землетрясения западной, восточной и центральной частей Алтае-Саянской горной области. В 2024 г. наблюдается сейсмическая активизация непосредственно в центральной зоне хребта вблизи разлома, разделяющего этот хребет на два блока. Активизация блокоразделяющего разлома наблюдается впервые. Учитывая, что с севера хребта Хангай происходили крупнейшие Таннуольские (Хангайские) землетрясения 1905 г (два) с магнитудой около 8, данная активизация достойна внимания. Важным результатом детальных исследований очаговых зон является выявление линейных активизированных структур, не совпадающих с картами активных разломов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Полянский П.О., Фролов М.В., Ешкунова И.Ф.* О влиянии Хубсугульского землетрясения 2021 года на сейсмичность стыка Алтае - Саянской горной области с Байкальской рифтовой зоной // Вулканология и сейсмология. – 2024. – № 6. – С. 28-39.
2. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Новиков И.С., Гладышев Е.А., Фатеев А.В., Полянский П.О., Шевкунова Е.В., Ершов Р.А., Арапов В.В., Кривов А.А.* Айгулакская очаговая область как результат воздействия Чуйского землетрясения 2003 г. на Горный Алтай // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65, № 11. – С. 1630–1646.
3. *Завьялов А.Д., Гульельми А.В., Зотов О.Д., Клайн Б.И.* Динамика афтершоков сильного землетрясения: к 130-летию закона Омори // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях. Материалы Общероссийской научно-практической конференции. Москва, 2025. – С. 32–36.

О ЗАКОНЕ БАТА И ЕГО ЗЕРКАЛЬНОМ АНАЛОГЕ

¹А.Д. Завьялов, д.ф.-м.н., ^{1,2}О.Д. Зотов, к.ф.-м.н., ¹А.В. Гульельми, д.ф.-м.н.,

²Б.И. Клайн, к.ф.-м.н.

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ГО «Борок» ИФЗ РАН, пос. Борок, Ярославская обл.

В физике землетрясений известны три закона. Это закон Омори о гиперболическом спадании активности афтершоков со временем, закон повторяемости Гутенберга-Рихтера и закон Бата. Все три закона являются статистическими.

Закон Бата [1] гласит, что разность $\Delta M = M_0 - M_{\max}$ между магнитудой главного удара M_0 и максимальной магнитудой $M_{\max}$ события в последовательности афтершоков, во-первых, не превышает величину $\Delta M = 1.2$, и, во-вторых, не зависит от M_0 .

Назовем триадой землетрясений естественное триединство форшоков, главного удара и афтершоков. Понятие триады позволяет обогатить систематику (т.е. классификацию и номенклатуру) землетрясений. В работе [2] дана классификация триад. Выделены классическая и зеркальная триады, причем каждая из них может быть как полной, так и укороченной, или неполной. У полных триад присутствуют все три элемента: форшоки, главный толчок и афтершоки. В укороченных триадах отсутствуют форшоки (укороченная классическая триада), или афтершоки (укороченная зеркальная триада). Кроме того, выделены симметричные триады, среди которых особое место занимают Большие уединенные землетрясения.

Закон Бата был установлен для всех видов триад, главные удары которых сопровождаются афтершоками. Мы проанализировали потоки афтершоков для главных ударов разных величин магнитуд и уточнили закон Бата. Оказалось, что вопреки распространенному мнению величина ΔM достаточно сильно зависит от M_0 для классических триад и полных зеркальных триад и подчиняется соотношению $\Delta M = dM_0 + e$.

У авторов доклада закономерно возник вопрос: а нет ли закона для форшоков, аналогичного закону Бата для афтершоков. Было предпринято соответствующее исследование и обнаружено следующее. Для форшоков в полных классических триадах справедлив закон, аналогичный классическому закону Бата, установленному ранее для афтершоков. При этом ΔM также зависит от магнитуды главного толчка M_0 , т.е. остается верным соотношение $\Delta M = dM_0 + e$. Отличие касается только количественных значений коэффициентов d и e . Параметр d для форшоков в полтора раза выше, чем для афтершоков. Заметим, что зависимость ΔM от M_0 прослеживается также и для форшоков, входящих в состав полных зеркальных триад с различием в величинах параметров d и e .

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bath M.* Lateral inhomogeneities in the upper mantle // *Tectonophysics*. – 1965. – P. 483–514.
2. *Завьялов А.Д., Зотов О.Д., Гульельми А.В., Клайн Б.И.* Триады землетрясений: определение, классификация, основные свойства // Тезисы докладов IX Всероссийской научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. – 2023. – с. 59.

РЕГИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ЗАТУХАНИЯ (КАППА) ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

А.С. Зверева
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Спектр сильных движений грунта при землетрясениях затухает быстрее на высоких частотах выше угловой частоты, чем предсказывается в модели очага Дж. Брюна [2]. Впервые в своем исследовании Хэнкс [3] заметил, что выше заданной частоты спектр ускорения резко затухает. Андерсон и Хаф [1] ввели параметр κ (каппа) для моделирования данного затухания. Они напрямую измеряли κ из высокочастотной части амплитудного спектра ускорения Фурье.

В настоящей работе впервые была проведена оценка высокочастотного затухания с помощью параметра κ на основании записей 2323 землетрясений, зарегистрированных на 31 сейсмической станции ФИЦ ЕГС РАН. Среднее значение κ было рассчитано из спектров смещений S -волны для каждой сейсмической станции, κ варьируются от 0.008 до 0.1, также было получено среднее значение для всего региона $\kappa=0.055$.

Было выявлено, что использование коррекции за затухание в виде частотно-зависимой добротности Q для событий с эпицентрными расстояниями до 50 км практически не влияет на значение κ , наблюдается только его незначительное уменьшение на отдельных сейсмических станциях. Сопоставление, полученных оценок κ , вычисленных на разных компонентах показало, что вертикальные оценки немного меньше, чем горизонтальные, но в целом оценки похожи. В целом также наблюдается близость результатов на двух горизонтальных компонентах N–S и E–W, что показывает отсутствие влияния направления прихода волн на значение каппа.

Зависимость κ от эпицентрального расстояния незначительна, однако следует отметить, что местные условия площадки играют важную роль в оценке κ . Значение κ выше для осадочных пород и ниже для мест с твердым грунтом, таким образом, все сейсмостанции Северного Кавказа были разделены по типу грунтовых условий: $\kappa < 0.05$ – скальные (грунты 1 категории), $\kappa = 0.05–0.07$ – осадочные (грунты 2 категории) и $\kappa > 0.7$ – осадочные и аллювиальные (грунты 3 категории). Полученные оценочные значения κ могут быть применены для стохастического моделирования сильных землетрясений на территории Северного Кавказа и, следовательно, важны для оценки сейсмической опасности региона.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *J.G. Anderson and S. Hough* (1984). A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies. *Bull. Seism. Soc. Am.* – 2018. – 74 (5), P. 1969–1994.
2. *J. Brune*. Tectonic stress and seismic shear waves from earthquakes, *Journal of Geophysical Research*. – 1970. – V. 75, N 26. – P. 4997–5009.
3. *T.C. Hanks* $f_{\max}$. *Bull Seism Soc Am.* – 1982. – V. 72 – P. 1867–1879

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ

Т.В. Злобина
«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Добыча калийных руд является важной основой процесса производства минеральных удобрений. Российская Федерация входит в тройку лидеров-производителей калийных удобрений, что объясняется наличием на территории страны Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), одного из крупнейших в мире. Проблема техногенной сейсмичности на месторождении существует более 30 лет. Существующая система сейсмологического мониторинга на ВКМКС действует с 1995 г. и постоянно развивается [1]. В настоящее время системами сейсмологического мониторинга охвачены все действующие рудники: три в г. Соликамске и два в г. Березники. На каждом из шахтных полей действует от 6 до 16 сейсмопавильонов, однако пространственное распределение их неравномерно и зависит как от горнотехнической обстановки, так и от физической возможности установить регистрирующее оборудование [1]. За период мониторинговых наблюдений составлена база данных зарегистрированных сейсмических событий, выявлены основные причины изменения уровня сейсмической активности, предложен алгоритм прогноза плотности выделений сейсмической энергии с выделением наиболее опасных геодинамически участков [2].

Основной особенностью зарегистрированной сейсмичности является, то что она не связана с текущими горными работами. Сейсмические события реализуются через некоторое время от отработки. Это связано с тем, что калийные соли разрушаются не сразу. Согласно работе [3], основные разновидности соляных пород Верхнекамского месторождения не являются удароопасными, т.к. показатели хрупкости не достигают критических значений. При этом сильвинит и каменная соль имеют ярко выраженный пластический характер деформации, а карналлит – наиболее склонный к хрупкому разрушению. Также было доказано, что активизации сейсмичности на калийных рудниках способствует увеличение ширины и высоты камер, а также отсутствие закладочного материала в отработанной камере. Анализ влияния типа и возраста закладочного материала позволил установить, что гидравлическая закладка дает значительное и более быстрое затухание сейсмичности по сравнению с сухой закладкой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИ-ОКТР: 124020500029-1).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шулаков Д.Ю.** Сейсмологический мониторинг Верхнекамского месторождения: задачи, проблемы, решения // Горный журнал. – 2018. – № 6. – С. 25–29. – DOI: 10.17580/gzh.2018.06.05
2. **Злобина Т.В., Дягилев Р.А.** Апробация метода прогноза сейсмической активности для Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 4. – С. 56–66. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_56
3. **Асанов В.А., Паньков И.Л., Гурко И.В.** Хрупкое разрушение соляных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №7. – С. 137–142.

ВАРИАЦИИ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СКВАЖИНЕ, СВЯЗАННЫЕ С ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Ш.Г. Идармачев, д.ф-м н, И.Ш. Идармачев
ИГДФИЦ РАН, г. Махачкала

Приведены результаты наблюдений за электрическим полем (ЭТП) в сейсмоактивном районе Дагестана. Методика наблюдений отличается от известных ранее [1, 2] тем, что измерительные электроды установлены в закрытой скважине, что позволяет эффективно подавлять помехи экзогенной природы. Показано, что сезонные колебания температуры и давления атмосферы не оказывают прямого влияния на электрическое поле в скважине глубиной 10 м. Для обработки среднечасовых данных за период 2013–2015 гг. использовалась программа WinABD [3]. На основе анализа данных сделаны следующие выводы:

1. Сезонные колебания температуры и давления атмосферы не оказывают прямого влияния на электрическое поле в скважине. Аномалии ЭТП, совпадающие с изменением температуры в летние периоды, связываются с периодом активности деревьев в парковой зоне, где расположена скважина, обусловленная движением воды в корневой системе деревьев. Атмосферные осадки высотой 36 мм вызывают короткопериодные изменения ЭТП с амплитудой до 1.2 мВ. Длительность аномалии составляет 6 суток. Для остальных случаев осадков аномалии ЭТП не превышают уровень фоновых помех.

2. Для сейсмических событий в радиусе до 300 км от пункта наблюдения предвестников землетрясений не обнаружено.

3. Для импульсной аномалии ЭТП большой амплитуды, которая произошла после землетрясения, когда очаг находился под пунктом наблюдения, был сделан расчет деформации пород в скважине по амплитуде аномалии ЭТП. Полученные данные позволяют сделать количественные оценки деформации пород вокруг фокальной зоны землетрясения.

4. Результаты анализа данных за двухлетний период наблюдений показали, что глубина скважины 10 м недостаточна для эффективного подавления экзогенных помех, которые достигают десятых долей милливольт, в то время как чувствительность измерительной аппаратуры как минимум на порядок выше. Поэтому для прецизионных измерений ЭТП глубину скважины необходимо увеличить до 50–100 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. – М.: Наука, 1993. – 308 с.
2. *Varotsos P.A., Alexopoulos K.* Physical Properties of variation of electric field of the Earth preceding earthquake // *Tectonophysics*. – 1984. – Vol. 110. – P. 73–125.
3. *Дещеревский А.В., Сидорин А.Я.* Некоторые вопросы методики оценки среднесезонных функций для геофизических данных. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 40 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КРОСС-КОРРЕЛЯЦИИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ К ИЗУЧЕНИЮ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРНОГО УРАЛА И ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

¹И.О. Китов, д.ф.-м.н., ¹И.А. Санина, д.ф.-м.н., ²И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н.

¹ИДГ РАН, г. Москва

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Северный Урал и Восточная часть Кавказа относятся к одному сейсмическому региону № 29 по классификации Флинна-Энгдала. Несмотря на формальность такого объединения с точки зрения тектонических процессов в этих районах, высказано предположение, что наблюдаемая сейсмичность в одном из них (Восточный Кавказ) может быть использована для доказательства возможности применения новейших методов регистрации и обработки данных в другом (Северный Урал). Предположение основано на анализе конфигурации существующей (Восточный Кавказ) и планируемой (Северный Урал) сетей станций, расположения станций сети МСМ и региональных трехкомпонентных (3-К) станций, а также предполагаемой малоапертурной сейсмической группы.

В рамках исследования сейсмичности Арктики необходимо применять новейшие методы регистрации и обработки данных, к которым относятся сейсмические группы и метод кросс-корреляции волновых форм (ККВФ) [1]. Детальное изучение сейсмичности Восточного Кавказа с помощью данных региональной сети 3-К станций ФИЦ ЕГС РАН и сейсмических групп Международной системы мониторинга (МСМ) позволит оценить и сравнить пороги обнаружения сигналов обеими сетями. На основе этих оценок будет определена оптимальная конфигурация наблюдательной сети на Северном Урале для изучения сейсмичности как в реальном времени, так и ретроспективно на основе доступных исторических данных.

Восточный Кавказ – один из наиболее активных сейсмических районов России, а сейсмичность Северного Урала еще предстоит исследовать. В каталогах МЦД и МСЦ можно найти десятки и первые сотни событий, соответственно, большая часть из них являются промышленными взрывами, но несколько десятков событий, найденных в МЦД, дают возможность исследовать сейсмичность этого района, начиная с 2001 г.

Для детального изучения на Восточном Кавказе выбрано Курчалойское землетрясение 11 октября 2008 г. с $m_b(\text{МЦД})=5.2$, после которого в течение нескольких дней региональной сетью ФИЦ ЕГС РАН были зарегистрированы сотни афтершоков. Международный центр данных (МЦД), в котором используются сейсмические группы на региональных и близких телесеизмических расстояниях за период 11 и 12 октября 2008 г., выделил и локализовал по стандартной методике 26 событий. Применяя метод ККВФ с шаблонами сигналов от главного толчка и его первого афтершока ($m_b(\text{МЦД})=4.9$) к данным станций МСМ за тот же период времени, удалось подтвердить все 26 событий, ранее обнаруженных МЦД и выделить дополнительно более двух десятков афтершоков. В развитие использования метода ККВФ был также применен метод стохастизации микросейсмического шума [2] перед кросс-корреляцией. Оптимальная амплитуда случайного шума определялась путем максимизации количества найденных событий из бюллетеня МСЦ.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-17-00106.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В., Китов И.О., Санина И.А. Развитие метода согласованного фильтра в решении сейсмологических задач // Доклады Академии наук. Науки о земле. – 2025. – Т. 523, № 1. – С. 163–167.

ТУАПСИНСКАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ В 2023–2025 ГГ.

А.И. Клянчин, А.С. Зверева
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Район исследования относится к Северо-Западному Кавказу, являющемуся в современный период слабоактивной областью. Хотя исторически здесь известны 7 балльные землетрясения, например в 1935 и 1936 гг. произошли Туапсинские рои, два из которых 21 июля и 14 декабря 1936 г. с интенсивностью, соответственно, 6–7 и 7 баллов ощущались в районе г. Туапсе [1].

Настоящее исследование является продолжением работ, начатых в 2023 г. в этом районе [2]. Современная сейсмическая активизация в Туапсинской зоне началась 10 марта 2023 г., как уже отмечалось в [2] и продолжается до настоящего времени, уже реализовавшись на площади $\sim 330 \text{ км}^2$. С 10 по 27 марта 2023 г., а затем с 13-го по 25 мая регистрируются рои землетрясений. Магнитуды землетрясений в мартовском рое $M=1.0\text{--}2.3$, в майском – $M=1.5\text{--}3.7$. Ряд землетрясений в майском рое был ощутимым в г. Туапсе до $I_{\text{max}}=5$ баллов. Туапсинские рои связаны с поперечной Туапсинской разрывной грабенообразной флексурой. Северная часть Туапсинского роя относится к Южно-Михайловской зоне ВОЗ с $M_{\text{max}}=6.8$ [3].

Более детально были исследованы данные о землетрясении 12 февраля 2025 г. в $13^{\text{h}}40^{\text{m}}$ с $h=11 \text{ км}$ $M_w=3.3$ с эпицентром в акватории Чёрного моря вблизи г. Туапсе. Рассчитаны очаговые спектры по записям региональных сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН и определены спектральные параметры очага: сейсмический момент M_0 , величина сброшенного напряжения $\Delta\sigma$ и радиус разрыва R . В тектоническом плане изучаемое землетрясение произошло в зоне Туапсинской флексуры в Черноморской зоне ВОЗ с $M_{\text{max}}=6.0$. Механизм очага землетрясения определен как сброс с правосторонним сдвигом.

Проведен сбор макросейсмических данных, для этого использованы социальные сети «ВКонтакте» и мессенджер «Telegram». Установлена максимальная интенсивность в ближайшем к эпицентру населенном пункте, она составила в г. Туапсе – 4 балла по шкале ШСИ-17.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* // Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – С. 119–120
2. *Королецки Л.Н., Габсатарова И.П., Клянчин А.И.* Туапсинская активизация в мае 2023 г. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. – 2023. – С. 56–56.
3. *Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатов А.В.* Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с. – EDN: ZPKBCV

ОПЫТ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ШКОЛЫ № 64 Г. ИРКУТСКА

Е.А. Кобелева к.ф.-м.н, Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н.
БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Сейсмическая уязвимость является одной из приоритетных проблем любого крупного города, расположенного вблизи зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) [1]. Для успешного решения данной задачи необходима инженерная паспортизация зданий, включающая определение их динамических характеристик. Особое значение паспортизация, равно как и общая оценка уязвимости, имеет для объектов социального назначения, в том числе учебных заведений.

Объектом данного исследования являются два корпуса средней школы № 64, расположенной в 1-м Поселке ГЭС Свердловского района г. Иркутска. Старый корпус, в котором в настоящее время размещены начальные классы, был введен в эксплуатацию в 1955 г.; новый корпус был сдан в 2020 году. Инженерно-сейсмометрические работы производились в течение ноября 2024 года. Наблюдения осуществлялись с использованием аппаратно-программного комплекса «Байкал» с сейсмометрами А1638, установленного на первом и третьем этажах обоих корпусов. Источником микроколебаний служил шум, создаваемый перемещениями учащихся по зданиям школы во время перемен. Кроме того, по удачному стечению обстоятельств было зарегистрировано умеренное землетрясение ($K_p=12.7$, $mb=4.7$), произошедшее 10 ноября 2024 г. в 12^h11^m UTC.

В результате установлено, что в новом корпусе школы значения PGA, обусловленные антропогенными источниками колебаний, достигали 1.32 см/с^2 на первом этаже и 1.73 см/с^2 – на третьем (компонента Z). В старом корпусе значения PGA на первом и третьем этажах составили соответственно 2.16 и 4.99 см/с^2 (компонента Z). При землетрясении 10 ноября 2024 г. максимальное значение PGA в новом корпусе школы составило 1.02 см/с^2 , что, согласно шкале ШСИ-17 [2], соответствует инструментальной интенсивности сотрясений 1.9 балла. Установлено также, что для здания нового корпуса школы № 64 период собственных колебаний составляет $T=0.23$. Выполненные исследования свидетельствуют о необходимости постоянного инженерно-сейсмометрического мониторинга зданий и сооружений, особенно социального назначения.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бержинская Л.П., Радзиминович Я.Б., Саландаева О.И., Новопашина А.В., Лухнева О.Ф., Иванова Н.В. Комплексная оценка сейсмической опасности и уязвимости объектов как перспектива дальнейшего градостроительного развития территорий // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2022. – Т. 49, № 1. – С. 18–33. DOI: 10.21455/VIS2022.1-2
2. ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – М.: Стандартинформ, 2017. – 32 с.

АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КАК ИНСТРУМЕНТ ДИАГНОСТИКИ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОТИНЫ

И.В. Коковкин, В.С. Селезнев, Е.Э. Пархоменко, Д.А. Уколов
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

В условиях старения материалов гидротехнических сооружений, особую важность приобретает мониторинг состояния бетонных плотин, подверженных деградации из-за повышенных эксплуатационных нагрузок, агрессивной среды, а также технологических дефектов при строительстве. Поиск скрытых повреждений или отслеживание уже имеющихся довольно сложная процедура, тем более из-за ограниченного доступа к подобным конструкциям. В данном исследовании рассматривается дистанционный метод диагностики плотины, основанный на анализе ее частот собственных колебаний [1], с использованием данных, регистрируемых сейсмологическими станциями. Этот подход позволяет выявлять изменения динамических характеристик сооружения, без непосредственного доступа к объекту исследования.

На примере Саяно-Шушенской ГЭС показано, что низкочастотные колебания плотины фиксируются на расстоянии нескольких километров. Обработанные записи демонстрируют обратную зависимость между уровнем воды в водохранилище и частотами колебаний, за счет изменением массы конструкции. Кроме того, за годовой цикл обнаружено различие частот при одинаковом уровне воды в фазах наполнения и сброса водохранилища, что может объясняться изменением влажности бетона. Вместе с тем, выявлены аномалии в поведении частот в осенний период, выражающиеся в их скачкообразном изменении, что может свидетельствовать о проявлении структурных нарушений. Отмечено влияние температурных условий среды, их резкие перепады приводят к заметному отклику частот. Также зафиксировано, что с годами происходит постепенное увеличение собственных частот плотины, что указывает на необратимые изменения состояния плотины.

Таким образом, метод сейсмического мониторинга может быть эффективен для оценки целостности плотин, но также требует учета множества факторов. Для повышения точности диагностики необходимы дальнейшие исследования с более длительными наблюдениями и детальным анализом влияния внешних условий на динамические характеристики сооружений. Полученные результаты подтверждают перспективность дистанционных методов для обеспечения безопасности гидротехнических объектов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Брыксин А.А.* Способ непрерывного мониторинга физического состояния зданий и/или сооружений и устройство для его осуществления // Изобретения (патенты). – 2012. – № 26 (II ч.). – С.364–365. – Пат. 2461847 RU. – МПК G01V1/28, G01M7/02.

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Е.Я. Колесникова, М.Н. Бондарь, Ю.М. Вольфман д.г.-м. н.
Институт сейсмологии и геодинамики, г. Симферополь

Основная сейсмогенная зона Крымско-Черноморского региона приурочена к области континентального склона Чёрного моря, протягиваясь параллельно Южному берегу Крыма на удалении 20–40 км от него. Она контролируется системой диагонально ориентированных надрегиональных разломов, разграничивающих континентальную часть Крыма и Черноморскую котловину.

Общую картину сейсмичности региона дополняет группа относительно слабых землетрясений, локализованных непосредственно в пределах Южного берега Крыма – в узкой полосе континентальной части полуострова к северу от его побережья. Они проявляются в виде вполне компактных скоплений, как разнесенных во времени, так и происходящих в течение ограниченных временных интервалов. Очаги этих землетрясений находятся на глубинах $H=10–25$ км и имеют магнитуду $MSH=2.0–3.0$. К числу наиболее значимых из них относится серия из 18 событий с энергетическим классом $K_p=4.6–8.5$, произошедших возле горы Демерджи (район Большой Алушты) в ноябре 2011 года. [1]. Всего же за период с 1961 по 2022 г. здесь зарегистрировано 104 землетрясения. В 2025 г. было зафиксировано несколько последовательных событий в районе г. Ялта – у подножья Главной гряды Крымских гор вблизи водопада Учан-Су [2]. Наиболее значимое из них произошло 19.01.2025 г. с магнитудой $MSH=2.7$ ($K_p=9.0$); его воздействие ощущалось некоторыми жителями Большой Ялты. По результатам макросейсмического изучения интенсивность сотрясений от этого события на данной территории составила до 2–3 баллов.

Результатами структурно-тектонического анализа установлено, что землетрясения континентальной части Крыма контролируются зонами нарушений более низких (по отношению к основной сейсмогенной зоне региона) рангов. Таковыми являются узлы пересечения активных на современном этапе систем разломов диагональных простираний. В частности, проявления сейсмичности в районе г. Демерджи приурочены к пересечению Демерджинской зоны северо-восточного простирания и ортогональной к ней зоне Салгино-Октябрьского разлома северо-западного направления. Аналогичным образом, землетрясения в районе водопада Учан-Су (г. Ялта) тяготеют к узлу пересечения юго-западного фланга указанной Демерджинской зоны с Бельбекской разломной зоной северо-западной ориентировки. Перечисленные разрывные структуры являются значимыми системными элементами сейсмотектоники региона.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания (код научной темы: FZEG – 2024 0016)).

ЛИТЕРАТУРА

1. Свидлова В.А., Сыччина З.Н., Пасынков Г.Д. Сейсмичность Крыма в 2011 году / Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 г. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. – С. 6–16.
2. Рабочий каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона Института сейсмологии и геодинамики КФУ им. В.И. Вернадского.

РАСПОЗНАВАНИЕ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

^{1,2}Д.К. Комекбаев, ^{1,2}Н.А. Сейнасинов, ²И.Л. Аристова²
¹КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан
²ИГИ НЯЦ РК, г. Курчатов

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) – уникальное место, на его территории с 1949 по 1989 г. было произведено 468 ядерных испытаний, из них 125 атмосферных, 343 подземных ядерных взрыва (из них 215 в штольнях и 128 в скважинах). С 1961 по 2002 г. проводились химические калибровочные и экспериментальные взрывы с мощностью до 5 кт. В настоящее время на территории СИП добывают полезные ископаемые, производят большое количество карьерных взрывов. И наконец, в этом районе существует тектоническая сейсмичность, с магнитудами землетрясений до 5.5 и интенсивностью в эпицентральной зоне до 6 баллов, а также техногенная сейсмичность [1, 2]. На территории полигона находится много ответственных объектов, вблизи полигона планируется строительство АЭС. В связи с этим исследование сейсмического режима района СИП актуально и требует комплекса работ по мониторингу, сейсмическому распознаванию природы источника, исследованию исторических сейсмограмм, установки полевых станций вблизи мест проведения ядерных испытаний в прошлом [1, 2]. Кроме того, большой интерес представляет влияние на особенности волновой картины геологической среды и метода проведения ядерных взрывов (штольня или скважина).

В ИГИ НЯЦ РК для распознавания взрывов и землетрясений в настоящее время используется два подхода: один из них предполагает анализ волновой картины сейсмических событий, другой – подразумевает создание базы данных записей сейсмических и инфразвуковых станций эталонных взрывов, и применение к ним корреляционных методов идентификации. Для анализа волновой картины взрывов различной природы и землетрясений были отобраны оцифрованные записи исторических ядерных взрывов станций на региональных расстояниях, а также современные цифровые записи калибровочных, карьерных взрывов и землетрясений по станциям KURK и MAKZ. Для исследования были вычислены значения функции взаимной корреляции пар записей и создана симметричная корреляционная матрица. Произведено группирование событий по способу кластерного анализа с построением дендрограммы, отражающей расстояния между объектами [3]. В результате показано отличие записей взрывов, как ядерных, так и химических, произведенных на площадках Дегелен и Балапан, от записей землетрясений.

Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR 24792713).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Мукамбаев А.С. Природная и техногенная сейсмичность территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона и его окрестностей. – Алматы, 2021. – 179 с.
2. Соколова И.Н., Михайлова Н.Н., Великанов А.Е. Техногенно-индуцированные сейсмические события на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона по данным полевых наблюдений // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2 – С. 7–15. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.01>
3. Ассиновская Б.А., Габсатарова И.П., Панас Н.М., Юски М. Сейсмические события 2014–2016 гг. на Карельском перешейке и их природа // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54. № 1. – С. 40–61. – DOI: 10.21455/si2018.1-4

НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ S-ВОЛН И КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ, СФОРМИРОВАВШИЕСЯ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ ДИНГРИ 7 ЯНВАРЯ 2025 Г.

¹Ю.Ф. Копничев, д.ф.-м.н., ²И.Н. Соколова, д.ф.-м.н.

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Установлено, что в литосфере различных сейсмоактивных районов перед многими сильными землетрясениями формируются зоны высокого содержания флюидов, которые выделяются по скоростям или поглощению короткопериодных S-волн. В связи с этим предлагается использовать методы картирования полей скоростей или поглощения для обнаружения зон, в которых могут идти процессы подготовки сильных неглубоких землетрясений. Для уточнения мест подготовки сильных землетрясений, оценки магнитуд, а также приблизительного времени их реализации целесообразно анализировать кольцевые структуры сейсмичности в разных диапазонах глубин.

В работе [1] были исследованы характеристики поля поглощения короткопериодных S-волн в регионе Южной Азии. Для картирования поглощения использовались записи станции NIL на региональных расстояниях. Анализировались отношения максимальных амплитуд волн S_n и P_n . В районе Южного Тибета была обнаружена аномалия повышенного поглощения между 87.0 и 87.5° в.д. В этом же районе были выделены две кольцевые структуры: мелкая, в диапазоне глубин $0\text{--}33$ км с пороговым значением магнитуды $Mn1=4.2$ и длиной большой оси $L1=90$ км, и глубокая, в диапазоне глубин $34\text{--}70$ км с $Mn2=4.3$ и $L2=100$ км. По корреляционным зависимостям, полученным ранее [2], мы получили оценку магнитуды готовящегося землетрясения: $M_w=6.5\pm0.7$ для событий с механизмами типа сброса. Эпицентр сейсмического события должен находиться вблизи от области пересечения мелкой и глубокой кольцевых структур, как это было показано перед многими сильными землетрясениями.

7 января 2025 г. в Тибетском автономном районе КНР произошло землетрясение с $M_w=7.1$. Механизм землетрясения – сброс, эпицентр приурочен к сейсмогенному разлому, расположенному к западу от ориентированной с севера на юг системы разломов Шэньчжа-Динцзе (Shenzha-Dingjie) [3]. Максимальная интенсивность достигла IX баллов. В течение 72 часов после главного толчка было зарегистрировано более 1 600 афтершоков [3].

Полученные данные согласуются со сделанными ранее выводами о важной роли глубинных флюидов в процессах подготовки сильных коровых землетрясений и свидетельствуют о перспективности использования методов картирования поля поглощения S-волн и анализа кольцевой сейсмичности для среднесрочного прогноза.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районах Гималаев, Индийской плиты и Южного Тибета и их связь с сейсмичностью // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2021. – Т.48, N 2. – С. 47–61. – DOI: 10.21455/VIS2021.2-3.
2. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся в континентальных районах перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов. // Геофизические исследования. – 2013. – Т. 14, № 1. С. 5–15.
3. Yu, S., Zhang, S., Luo, J., Li, Z. and Ding, J. The Tectonic Significance of the $M_w7.1$ Earthquake Source Model in Tibet in 2025 Constrained by InSAR Data // Remote Sensing – 2025. – 17, 5. P. 936. – DOI: 10.3390/rs17050936

РЕГИСТРАЦИЯ СИГНАЛОВ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ МОЛЕКУЛЯРНО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СЕЙСМОМЕТРАМИ НА АРКТИЧЕСКОМ ДРЕЙФУЮЩЕМ ЛЬДУ

¹А.А. Крылов, к.ф.-м.н., ²М.С. Знаменский

¹ИО РАН, г. Москва

²ААНИИ, г. Санкт-Петербург

Во время кратковременного эксперимента с использованием сейсмостанций, установленных на дрейфующем льду во время международной комплексной экспедиции MOSAiC в 2020 г, были получены трехкомпонентные сейсмические записи, содержащие большое количество нестационарных и квазистационарных сигналов как природного, так и антропогенного происхождения. Станции были укомплектованы широкополосными молекулярно-электронными сейсмометрами СМЕ-4311 в низкотемпературном исполнении.

В результате обработки записей, во-первых, были найдены сигналы от землетрясения с магнитудой $mb=4.6$, произошедшего в Гренландии 30.03.2020 г. на расстоянии примерно 500 км от дрейфа судна [1]. Было обосновано, что сигналы представляют собой вступления P -волн и так называемых T -волн, которые распространяются в подводном звуковом канале. Была выполнена оценка, согласно которой в ближней зоне до 30 км таким образом возможно регистрировать микроземлетрясения с магнитудой до 2.

Во-вторых, был выполнен анализ квазистационарных и нестационарных шумовых сигналов. Спектральный анализ выявил гармоники, относящиеся к первичным микросейсам 0.1–0.2 Гц, соответствующие ветровому гравитационному волнению моря, а также увеличение уровня спектра в диапазоне периодов больше 30 с, относящееся к инфрагравитационным волнам [2]. Для десятка высокочастотных импульсных сигналов, возникших предположительно в результате трещинообразования во льду, были выделены моменты вступления P -волн на сейсмограммах и определены координаты очагов этих микрособытий во льду методом триангуляции [3] – они выстраиваются в линию субмеридианального простирания. На сейсмических записях присутствуют квазистационарные узкополосные сигналы и многочисленные нестационарные сигналы, источники которых, по всей видимости, являются функционирующим оборудованием на вмороженном судне или в ледовом лагере.

По полученным результатам можно прийти к выводу, что сейсмологический мониторинг на дрейфующем льду может оказаться действенным методом для изучения сейсмичности, вулканической активности и геодинамических процессов в акватории Северного Ледовитого океана. Другими перспективными объектами исследования этим методом являются ледовый покров и подводный звуковой канал.

Работа выполнена при поддержке госзадания № FMWE-2024-0018 (обработка сейсмических шумов) и гранта РФФИ № 23-17-00125 (обработка сигналов от землетрясения).

ЛИТЕРАТУРА

1. *U.S. Geological Survey*. Электронный ресурс: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (дата доступа: 09.05.2025).
2. *Krylov A.A., Kulikov M.E., Kovachev S.A., Medvedev I.P., Lobkovsky L.I., Semiletov I.P.* Peculiarities of the HVSR Method Application to Seismic Records Obtained by Ocean-Bottom Seismographs in the Arctic // *Applied Sciences*. – 2022. – V. 12. – p. 9576. – <https://doi.org/10.3390/app12199576>
3. *Львов А.В., Агапов М.Н., Тищенко А.И.* Триангуляционная система определения координат источника звука // *Ползуновский вестник*. – 2010. – № 2. – С. 159–162.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ОЧАГА ХАСТАХСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

^{1,2}А.С. Куляндина, ^{3,4}Е.Ю. Соколова, к.ф.-м.н., ⁵А.И. Филиппова, к.ф.-м.н.

¹ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск

²СВФУ, г. Якутск

³ВНИГНИ, г. Москва

⁴ИФЗ РАН, г. Москва

⁵ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

Создание глубинных геофизических моделей для районов, где происходят землетрясения, является основой понимания сейсмотектонической позиции их очагов. Для исследования очага Хастахского землетрясения, произошедшего 20 мая 2011 г. на северо-западе Якутии, были разработаны объемные региональные плотностная и магнитная модели. При построениях, производящихся в среде программного комплекса ГИС INTEGRО [1], использовались данные потенциальных полей [2, 3] и учитывались ограничения, накладываемые независимой геолого-геофизической информацией.

Вначале было построено градиентно-слоистое 3D распределение глубинной плотности и рассчитан его гравитационный отклик. Далее по остаточному гравитационному полю (невязке модельного и наблюдаемого полей) была осуществлена спектральная 3D инверсия, реализованная с использованием преобразования Фурье [4]. Результаты инверсии показали распределение избыточных плотностей – латеральных неоднородностей, которые отсутствовали в начальной модели и были необходимы для точного описания наблюдаемого поля. 3D-модель плотности, созданная путем объединения избыточных плотностей с градиентно-слоистой моделью, успешно объяснила наблюдаемое гравитационное поле [2] и была признана итоговой.

Распределение избыточной намагниченности, отвечающее аномальному магнитному полю региона [3], также было получено с применением аппарата спектральной 3D-инверсии, параметры которой, как и в случае инверсии гравитационного поля, подбирались с учетом ограничений по сейсмическим и электроразведочным данным.

Выявленные магнитные и плотностные неоднородности ассоциируются с магматическими проявлениями, что позволяет связать рассматриваемое землетрясение с активизацией магмоподводящих или магмоконтролирующих разломных зон под воздействием современных геодинамических процессов. Проведенное 2D плотностное моделирование по профилю через эпицентр землетрясения в крест региональных структур, в целом, подтверждает эту гипотезу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Деев К.В., Большаков Е.М. ГИСINTEGRО. Состояние и перспективы развития в условиях импортозамещения // Геология нефти и газа. – 2021 – № 3 – С. 31–40. – DOI: 3.10.31087/0016-7894-2021-3-31-40
2. Бузикова О.Г., Лисник Г.А., Ковалева Н.П., и др. Создание цифровой карты гравитационного поля территории Республики Саха (Якутия) масштабов 1:500000, 1:1000 000, 1:1500000, 1:2500000, 1:5000000 по состоянию изученности на 1.01.2005 г., 2002–2004 гг.– Якутск, 2004. – Инв. № Росгеолфонда 485903.
3. Лисник Г.А. Создание цифровой карты аномального магнитного поля (ΔT_a) территории Республики Саха (Якутия) масштаба 1:500 000, 1:1 500 000, 1:5 000 000 по состоянию изученности на 01.01.2005 г. в 2003–2006 гг.: объяснительная записка // Государственная гравиметрическая съемка масштаба 1:200 000 на Арга-Салинской площади РС(Я) R-49-XXXIII, XXXIV; Q-49-III,IV объем 15,8 тыс. кв. км. в 2005–2008 гг. : геологический отчет // Якутская ПСЭ. – Якутск, 2006. – Инв. № Росгеолфонда 492692.
4. Мицын С.В. О численной реализации спектрального метода решения обратной задачи гравиразведки // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 89–97. – URL: <https://gclnk.com/S2QML3Y0>

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЫ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДАГЕСТАНА

¹С.У. Кухмазов, ^{2,3}А.С. Кухмазов, ⁴В.М. Макеев, д.г.-м.н.,

¹И.В. Галушкин, к.г.-м.н., ⁵А.М. Магомедов

¹АО ОЭС, г. Москва

²АО «Атомэнергопроект», г. Москва

³НПП «ИнфоТЕРРА», г. Москва

⁴ИГЭ РАН, г. Москва

⁵ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал», г. Каспийск

Сейсмическая обстановка в районе Сулакского каскада ГЭС уже около 10 лет контролируется локальной сетью из 12 сейсмических станций, оснащенных широкополосной аппаратурой Guralp. Сейсмические станции расположены вдоль Сулакского каньона на базе 90 км. Сеть предоставляет ключ не только к задаче локализации местных землетрясений и определения их локальной магнитуды в первостепенных нуждах ПАО «Русгидро», но и обширные возможности использовать записи телесейсмических событий для исследования глубинной структуры Дагестана различными методами, в частности методом приемных функций. Для создания сеймотектонической модели был закартирован 75 %-й квантиль глубины очага землетрясения по площади района исследований. Пространственное распределение глубин очагов землетрясений свидетельствует о погружении максимальных глубин очагов землетрясений в северном и восточном направлениях. Записи телесейсмических землетрясений были использованы для изучения особенностей глубинной структуры земной коры и верхней мантии вдоль меридионального профиля. Результаты суммирования приемных функций по общим станциям уже были ранее опубликованы [1], но без проведения процедуры миграции. В настоящем докладе представлены мигрированные глубинные сейсмические разрезы, полученные методом обратного пробега по лучу как по данным *Ps*-волн (PRF), так и по данным *Sр*-волн (SRF). Кроме процедуры миграции была проведена инверсия суммированных приемных функций PRF двумя методами глобальной оптимизации: методом перекрестной энтропии и транспараметрическим байесовским методом Марковской цепи Монте-Карло с обратимыми скачками, в результате чего были построены глубинные сейсмические разрезы распределения скорости *S*-волн. Как миграционные, так и инверсионные разрезы связываются с глубинным распределением очагов землетрясений

и интерпретируются как выражение общей тенденции погружения глубинных границ нижней части земной коры и верхней мантии на север под восточный сегмент Большого Кавказа в связи с субдугированием океанической пластины. Вскрытая структурно-геодинамическая обстановка актуальна для построения сеймотектонических моделей в целях вероятностной оценки сейсмической опасности Дагестана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухмазов А.С., Магомедов А.М. Особенности глубинного строения Республики Дагестан по данным сейсмической томографии и функции приемника от далеких землетрясений для обеспечения безопасной эксплуатации Сулакского каскада гидроэлектростанций // ГеоРиск. – 2021. – Т. XV, № 4. – С. 30–46.

ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ВСЮ МОЩНОСТЬ МЕТОДОМ ОГТ ПО МАЛОАМПЛИТУДНЫМ ВОЛНАМ

**А.В. Лисейкин, к.г.-м.н., В.С. Селезнев, д.г.-м.н., В.М. Соловьев, к.г.-м.н.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск**

Сейсмические разрезы земной коры, как известно, широко используются для решения задач геодинамики и тектоники, а также при выборе методов и параметров методик проведения более детальных поисковых и прогнозных работ с учетом связи между строением верхней, средней и нижней частей земной коры. Разрез земной коры на больших глубинах (в десятки километров) определяется в основном по результатам геофизических методов исследования, причем наиболее детальные и достоверные разрезы получают по данным метода глубинного сейсмического зондирования на преломленных и отраженных волнах. Однако на сегодня объем финансирования этих чрезвычайно дорогих исследований значительно сокращен, в связи с чем территории протяженностью в сотни километров остаются неисследованными. Одним из рациональных путей построения разрезов средней и нижней частей земной коры, является дообработка материалов малоглубинной речной сейсморазведки методом общей глубинной точки (ОГТ), отличающаяся использованием сейсмограмм увеличенной длительности (при той же малой мощности источника возбуждения упругих волн). В результате проведения экспериментальных полевых работ вдоль русла рек Лена, Витим и Нижняя Тунгуска, на профилях общей длиной около 2700 км, получен и хранится на электронных носителях значительный объем материала. Это – непрерывные записи сейсмического шума, включающего и импульсные сигналы от пневмоисточников с периодом между воздействиями больше, чем время пробега продольных волн близвертикально отраженных от границ в земной коре на любой глубине, включая поверхность Мохоровичича. Современные сейсморазведочные станции характеризуются широким динамическим диапазоном, обеспечивая регистрацию слабых сигналов, на порядки ниже общей амплитуды сейсмического шума. Используя специальные способы обработки сейсмограмм, полученных методом ОГТ, можно существенно повысить отношение сигнал-помеха и выделить малоамплитудные сигналы отраженных волн из сейсмического шума при существенном увеличении кратности за счет увеличения площади бина. В рамках совместных работ со специалистами ФГБУ «Институт Карпинского» выполнена обработка сейсмических материалов с профиля по р. Витим [1]. Разработана и реализована методика экспресс-обработки данных, доказавшая возможность использования материалов речной сейсморазведки для получения разреза земной коры на всю мощность. Перспектива предложенного подхода состоит в возможности получения относительно дешевой информации о глубинном строении земной коры по профилям, выполненным и которые будут выполнены методом речной сейсморазведки ОГТ.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Заможняя Н.Г., Каширский А.Ю., Кунгурцев Л.В. Построение разрезов земной коры до границы Мохоровичича по малоамплитудным отраженным волнам речной сейсморазведки методом ОГТ-2D (р. Витим, зона сочленения Ангаро-Ленской моноклизы Сибирской платформы и Бодайбино-Патомской складчатой системы) // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66, № 1. – С. 109–123.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ ЗА 2024 ГОД ПО ДАННЫМ РИОЦ «ВЛАДИВОСТОК»

¹Е.В. Лисунов, ^{1,2}С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Владивосток

²СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

На территории Приморского края в 2009 г. создан Региональный информационно-обрабатывающий центр (РИОЦ) «Владивосток», который входит в Сейсмическую подсистему службы предупреждения о цунами (СП СПЦ) Федерального исследовательского центра «Единая Геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН). Основная деятельность СП СПЦ РИОЦ «Владивосток» – круглосуточный непрерывный сейсмологический мониторинг землетрясений Японского моря, в зоне ответственности – 1000 км от г. Владивосток. Помимо этого, ведется непрерывный мониторинг сейсмической активности материковой части Приморского края, приграничной территории Китая и КНДР, а также обрабатываются сведения о достаточно сильных сейсмических событиях, гипоцентры которых находятся за пределами контролируемой территории [1,2].

Сейсмическая сеть наблюдений (РИОЦ) «Владивосток» имеет в своем распоряжении четыре сейсмостанции – VLAR-RU (Владивосток), MSH (м. Шульца), PSTR-RU (Посьет), PLTR-RU (Полтавка) [2]. Кроме перечисленных станций, (РИОЦ) «Владивосток» имеет возможность получать сведения с сейсмической станции TEY (Терней), находящейся в подчинении Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

В период с января по декабрь 2024 г. на материковой части Приморского края и его прибрежной акватории было определено 13 очагов землетрясений. В работе дан анализ сейсмической активности, приводятся основные параметры событий, приведена карта распределения эпицентров землетрясений по территории, проведено сравнение результатов аналогичных исследований с предыдущим годом.

Обращает на себя внимание повышенная сейсмичность вблизи города Находки, которая выразилась в локализации на относительно небольшой площади радиусом 6 км группы из 5 очагов землетрясений.

Для более детального исследования сейсмической активности, оценки сейсмической опасности и дальнейшего изучения геолого-геофизического строения среды распространения сейсмических волн материковой и прибрежной частей Приморского края наблюдательная сеть требует своего развития.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горожанцев С.В., Лисунов Е.В.* О результатах совместных сейсмических и гравиметрических наблюдений в Приморском крае в 2016–17 годах // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. – Пермь, ПГНИУ, 2018. – С. 128–134.
2. *Лисунов Е.В., Пятунин М.С., Бутырин П.Г., Горожанцев С.В.* О сейсмической активности южной части Приморского края за 2023 год (по данным сейсмической сети РИОЦ «ВЛАДИВОСТОК») // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. – Пермь, ПГНИУ, 2023. – С. 144–151.

ОБ АКТИВИЗАЦИИ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КНДР В РАЙОНЕ ПОЛИГОНА ПХУНГЕРИ (ПО ДАННЫМ РИОЦ «ВЛАДИВОСТОК» ПОСЛЕ 2017 ГОДА)

¹Е.В. Лисунов, ^{1,2}С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.,

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Владивосток

²СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

Испытательный полигон Пхунгери в Корейской Народно-Демократической Республике (КНДР), где за период с 2006 по 2017 г. было произведено 6 подземных ядерных взрывов (ПЯВ), находится на участке с координатами центра 41°16'41" с.ш. 129°05'15" в.д. на расстоянии около 189 км от РФ [1]. Результаты проведенного анализа каталогов землетрясений ФИЦ ЕГС РАН, а также международных баз сейсмических данных за период с 2000 по 2017 г. свидетельствуют о низком уровне сейсмической активности в указанном районе. За весь исследуемый период было зафиксировано 6 сейсмических событий, магнитуды (ML) которых варьируются в диапазоне 2–3.5. Глубины очагов указанных событий распределены от 0 до 33 км.

В средствах массовой информации было объявлено, что 24 мая 2018 г. полигон был уничтожен. В подтверждение ликвидации полигона отмечается, что на глазах международных журналистов «...в определенной последовательности и прозрачно были проведены работы по обрушению всех шахт испытательного ядерного полигона путем взрыва...». РИА Новости приводит информацию о заявлении зам. главы Института ядерных исследований КНДР о том, что полигон Пхунгери больше нельзя будет восстановить для подземных ядерных испытаний [1].

По данным полученным сейсмической сетью наблюдений РИОЦ «Владивосток», которая развернута в южной части Приморского края с сентября 2017 г., на территории бывшего испытательного полигона Пхунгери наблюдается повышенная сейсмическая активность. За период 2017–2024 гг. в указанном районе было зарегистрировано 88 землетрясений. Согласно полученным данным, эпицентры всех сейсмических событий расположены в области с радиусом от указанных координат центра до 50 км. Очаги землетрясений распределены на глубинах от 5 до 30 км. Магнитуды (ML) событий находятся в пределах 2–3. В работе представлены временная динамика сейсмической активности в указанном временном интервале, параметры событий, карта распределения гипоцентров по площади, учтена информация о спектральных отношениях P/S [2].

После анализа полученных данных, предполагается, что активизация сейсмичности в этом районе носит антропогенный характер и связана с техногенным воздействием на горные породы ПЯВ. Результаты исследования позволят способствовать оценке долгосрочных последствий техногенных воздействий на геологическую среду и могут быть использованы при прогнозировании сейсмической опасности на подобных объектах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Интернет ресурсы*: [ru.wikipedia.org/wiki/Пхунгери], [ria.ru]
2. *Габсатарова И.П., Соколова И.Н.* Исследование сейсмичности в районе Северо-Корейского испытательного полигона Пхунгери // Триггерные эффекты в геосистемах: тезисы докладов VII Международной конференции, 2–5 июля 2024 г., Долгопрудный, Московская область. – М.: ИДГ РАН, 2024 – 141 с.

АКТИВИЗАЦИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ В РЕГИОНЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ (КОНТУРЫ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ)

В.С. Лютикова, И.Н. Литовченко
ННЦСНИ МЧС РК, г. Алматы

В работе исследовался процесс активизации сейсмичности в регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территориях за 2017–2025 гг. На современном этапе активизации в сейсмичности региона были выделены контуры роев землетрясений. По результатам исследования получены каталоги роев, построены карты-схемы пространственно-временного распределения роев землетрясений.

Рой – это группа близких землетрясений, определенной магнитуды (чаще низких энергетических классов), которые происходят один за другим с течением времени. Рои происходят не по схеме одного крупного землетрясения и нескольких более мелких афтершоков. Роевая активность не имеет закона затухания, как последовательность афтершоков. Рои землетрясений импульсивно возникают и также затухают по неизвестным причинам. Природу возникновения роев пока не могут точно понять. Нами под роем подразумеваются достаточно слабые землетрясения, выделяемые как особый вид сейсмической активности. Процесс распознавания роев землетрясений [1] основывался на данных о сейсмических событиях [2]. По детальным экспериментальным данным о сейсмичности региона с использованием алгоритма распознавания роев землетрясений строились пространственно-временные распределения землетрясений на территории ограниченной 39–46°СШ, 70–85°ВД, по которым выделялись контуры роев. Отмечается, что на современном этапе активизации сейсмичности региона исследований рои происходят в разных частях сейсмоактивного региона. По результатам исследований выявлено, что основная группа роев землетрясений, группируется в юго-восточной части региона, с продвижением на северо-восток в 2024–2025 гг. В юго-западной части рои землетрясений наблюдались с 2017 года. Отдельные зоны скопления роев землетрясений наблюдаются в виде сплошной полосы по южной части региона исследования с постепенным ее переходом вдоль горных хребтов к северо-востоку. Во временном распределении контуры (зоны концентрации) роев располагаются в основном в юго-западной части региона. Наиболее активными в процессе возникновения роев землетрясений в восточной части региона оказались 2022 и 2024 гг. Полученные результаты могут быть применены для выделения зон активизации потенциально опасных участков в регионе исследования, где могут произойти сильные землетрясения.

Работа выполнена в лаборатории физики геодинамических и сейсмических процессов в рамках ПЦФ шифр программы BR24992763 «Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе». Источник финансирования – Министерство образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лютикова В.С., Литовченко И.Н.* Технология распознавания образов (в выявлении роев землетрясений) // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докладов XI международной Конференция молодых ученых и студентов. – Бишкек, 2019. – С 104-108.
2. *Региональный каталог землетрясений* // Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция МЧС РК (СОМЭ). – Электронный ресурс: <http://some.kz/>

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ДАГЕСТАНА

Х.Д. Магомедов
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН осуществляет мониторинг сейсмичности в одном из наиболее сейсмоопасных регионов страны, ограниченной координатами 45°–49° в.д. и 41°–45° с.ш., где интенсивность землетрясений может достигать 9 баллов.

Инструментальные сейсмологические исследования на территории Дагестана начались в 1970 г. после девятибалльного Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. [1], когда в эпицентральной зоне была организована эпицентральная сейсмологическая экспедиция, что позволило всего за пять месяцев зарегистрировать около 1000 афтершоков, более 300 из которых были ощутимыми. Полигонные сейсмостанции позволили изучить и такой феномен, как «возбужденная сейсмичность» во время заполнения водохранилища Чиркейской ГЭС, расположенного на периферии очага Дагестанского землетрясения 1970 года.

На месте временно работающих сейсмостанций в 1971–1975 гг. была создана сеть из 16 стационарных сейсмических станций, начались исследования сейсмоактивной зоны территории Дагестанского клина.

Толчком для развития не только сейсмологических, но и геофизических исследований послужило создание 17 апреля 1979 г. опытно-методической партии на базе лаборатории сейсмологии Института физики Дагестанского филиала АН СССР.

В период с 2008 по 2015 г. все 16 аналоговых сейсмостанций сети были переоснащены цифровыми сейсмостанциями, что расширило возможности изучения слабой сейсмичности, энергетический класс представительных землетрясений на большей части территории Дагестана снизился с 8-го до 6-го.

В настоящее время для проведения геофизических наблюдений с целью изучения сейсмического режима территории Дагестана и сопредельных районов, а также для поиска предвестников землетрясений в рамках ДФ ФИЦ ЕГС РАН задействованы 18 цифровых сейсмических станций, 1 геохимическая станция, 4 геохимических и 3 геофизических пункта наблюдений.

В докладе представлены некоторые результаты работ Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ананьин И.В., Арефьев С.С., Асманов О.А. и др.* Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. // Сейсмология. Геология. Геофизика. – М.: Наука, 1980. – 221 с.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ (НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ «ДЕНИСОВСКАЯ»)

^{1,2}А.А. Макаров, ^{1,3}В.С. Селезнев, д.г.-м.н.

¹ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

²ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск

³СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Большой толчок для развития промышленности и экономики Республики Якутия (Саха) дал проект комплексного развития Южной Якутии. Строительство железнодорожных путей и автодорог способствовало прогрессу горнодобывающей промышленности. Так в пределах Алдано-Чульманского угленосного района начался новый этап развития. Вместе с тем развилась и технология обработки угольных месторождений. Одним из наиболее заметных объектов здесь является угольная шахта «Денисовская», ставшая первой в стране шахтой, осуществляющей добычу угля способом камерно-столбовой отработки [1]. Это подразумевает применение современного механизированного оборудования, включая высокопроизводительные комбайны и системы крепления. Однако применение новых технологий в сложных горно-геологических условиях влечет за собой непредсказуемые риски.

Вследствие землетрясений, произошедших в непосредственной близости к шахте, в 2022 г. здесь была развернута мониторинговая сеть, состоящая из четырех сейсмических станций [2]. Для анализа сейсмических записей в интервале 2022–2024 гг., помимо регистрации локальных сейсмических событий, была использована методика «Прецизионный, дистанционный метод контроля физического состояния зданий, сооружений и работающего оборудования» [3]. С применением этой методики были построены спектрограммы, на которых отчетливо прослеживается множество монохроматических сигналов. Периодичность, устойчивость сигнала во времени, а также коррелирующие пики на графиках усредненных спектров, выделенные на трех ближайших станциях DN01, DN02, DN03, позволяют однозначно интерпретировать принадлежность выделенных частот к работе проходческих угольных комбайнов. По мнению авторов главной рабочей частотой режущего инструмента комбайна является частота 15.08 Гц, имеющая максимальную амплитуду на всех станциях. По форме и длительности работы частоты режущего инструмента выделяются и более слабые частоты, принадлежащие угольному комбайну. Анализ установленных монохроматических частот позволяет проводить мониторинг работы проходческого угольного комбайна.

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН (проект № FUFG-2024-0005). А также при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира»

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт угледобывающей компании «Колмар» [Электронный ресурс]: URL: www.kolmar.ru (дата обращения: 04.03.2025)
2. Макаров А.А., Куляндина А.С., Шибяев С.В., Селезнев В.С., Туктаров Р.М., Старкова Н.Н., Наумова А.В., Пересыпкин Д.М. Техногенная сейсмичность угольной шахты «Денисовская» (Южная Якутия) // Землетрясения России в 2023 году: Ежегодник. – Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2025. – С. 145–149.
3. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Альжанов Р.Ш., Громыко П.В. Способ организации непрерывного сейсмического мониторинга инженерных сооружений и устройство для его осуществления // Патент на изобретение РФ, №2546056, Бюл. №10, 10.04.2015 г.

КРИПЕКС-ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ДО И ПОСЛЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЕВРАЗИИ

А.В. Михеева, к.ф.-м.н.
ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск

По данным каталогов Алтае-Саянского, Байкальского и Якутского филиалов ФИЦ ЕГС РАН из сборников «Землетрясения Северной Евразии» [1] с помощью алгоритма нахождения аномалий K_{COR} , предвещающих сильные землетрясения $M_S \geq 6$, исследована динамика сейсмо-геодинамического процесса до и после этих событий. Из шести землетрясений с магнитудой $M_S \geq 6$ Алтае-Саянской складчатой области (АССО), девяти – Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) и четырех – Якутии, лишь перед одним событием АССО, двумя БРЗ и одним из Якутии установлены длительные аномалии в области удаленного влияния их очагов l . Все четыре события приурочены к северной границе Южно-Азиатской структуры [2], принадлежащей внутриконтинентальной части юго-восточной Евразии. Величина l оценивается на основе теории упругости и превосходит размер области очага l_0 «примерно в полтора порядка» [3]. При этом размер очага оценивается из энергетического класса K , связанного с M_S эмпирической формулой ФИЦ ЕГС РАН: $M_S = (K-8)/1.1$.

Соотношение пластичности и консолидации геофизической среды исследуемых сейсмогеодинамических областей оценивается по знаку и величине K_{COR} – коэффициента парной корреляции нормированного крипекса Cr_0^{cat} [4] и магнитуды M_S . Использован метод расчета K_{COR} в скользящем временном окне с одним краем, фиксированным на моменте главного толчка. Если установленные ранее ([5] и др.) отрицательные аномалии $K_{COR} \leq -0.7$ по предвещающей эти события сейсмичности всего соответствующего региона свидетельствовали о региональной консолидации среды (для Алтайского землетрясения 27.09.2003 г., $M_S=7.2$ – за 32 дня до события, для Култукского 27.08.2008 г. землетрясения на Байкале, $M_S=6.6$ – за 29 дней, а для якутского 11.12.2005 $M_S=6.6$ – за 24 дня), то по сейсмичности в окрестности l алгоритмом сканирования каталога выявлены значительно более протяженные во времени (от полутора до пяти лет) положительные аномалии K_{COR} перед этими землетрясениями, что может свидетельствовать о закономерности исчерпания пластичности среды при подготовке крупного землетрясения в локальной области подготовки его очага.

Работа выполнена в рамках госзаданий FWNM-2025-0004 и FWZZ-2022-0019.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Землетрясения Северной Евразии, 1992 год ... 2020 год* // Под ред. Старовойт О.Е. – Обнинск, ГС РАН. – 1998-2024гг.
2. *Михеева А.В.* Южно-Азиатская мегаструктура по данным геоинформационной системы GIS-ENDDB // Геоинформатика. – 2018. – № 4. – С. 2–13.
3. *Лермонтова А.С., Ребецкий Ю.Л.* О проблеме дальнего действия аномалии напряженного состояния включения/разрыва в среде, находящейся в закритическом состоянии // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. – М.: Изд-во ИФЗ РАН, 2016. – Т. 1. – С. 470–474.
4. *Михеева А.В., Калинин И.И.* Крипекс-анализ процессов в очаговых зонах крупных землетрясений средствами GIS-ENDDB // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 4. – С. 7–17.
5. *Михеева А.В.* Об особенностях изменения геодинамической обстановки до и после Алтайского землетрясения // «Интерэкспо ГЕО-Сибирь». – 2025. – Т. 2.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЕРОЯТНОСТНОЙ ЛОКАЦИИ ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА НАЧАЛА XX В.

^{1,2,3}А.Н. Морозов, д.т.н., ⁴В.Э. Асминг, к.ф.-м.н., ^{5,6}А.И. Филиппова, к.ф.-м.н.,
^{6,7}Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н., ³Н.В. Ваганова, к.г.-м.н.

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ГЦ РАН, г. Москва

³ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

⁴КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты

⁵ИЗМИРАН, г. Троицк

⁶ИТПЗ РАН, г. Москва

⁷БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Существующие методы расчета параметров землетрясений основаны на раздельном анализе их макросейсмических и инструментальных данных. В работе [1] предложен метод вероятностной локации землетрясений на основе совместного анализа их инструментальных и макросейсмических данных. Метод базируется на вероятностном подходе с применением «наивного» Байесовского классификатора с поиском оптимального (наиболее вероятного) решения на сетке. Предложенный метод применяется преимущественно для раннеинструментальных землетрясений, которые имеют очень ограниченный набор инструментальных и макросейсмических данных. Вычислить параметры очагов этих землетрясений на основе только макросейсмических или только инструментальных данных, чаще всего, не представляется возможным.

Метод вероятностной локации был применен для шести землетрясений Байкальского региона, произошедших в период с 1902 по 1925 г. Данные землетрясения имеют ограниченный набор макросейсмических сведений и инструментальных данных. Проверка эффективности метода на модельных бюллетенях показала, что при имеющихся комбинациях макросейсмических и инструментальных данных возможно с приемлемой точностью вычислить координаты эпицентров и магнитуды Байкальских землетрясений.

Полученные в статье результаты направлены на решение актуальной задачи повышения достоверности оценок параметров землетрясений, произошедших в первой половине XX в. на Байкале. В конечном итоге это позволит получить более обоснованные оценки сейсмического риска на современном этапе исследований сейсмоопасных территорий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке тем НИР, включенных в государственное задание ИФЗ РАН, ГЦ РАН, ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, ФИЦ ЕГС РАН, ИЗМИРАН и ИТПЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Морозов А.Н., Асминг В.Э., Ваганова Н.В., Евтюгина З.А.* Вероятностная локация раннеинструментальных землетрясений на основе макросейсмических и инструментальных данных // Физика Земли. – 2024. – № 1. – С. 175–185.

ОЦЕНКА ПОСТСЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ В СИСТЕМЕ «AFTERSHOCK»

**А.Ю. Моторин, С.В. Баранов,
КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты**

С середины 1990-х гг. Кировский филиал АО «Апатит» проводит многолетний сейсмический мониторинг на удароопасных месторождениях Хибинского массива. Детальный каталог природно-техногенной сейсмичности позволил выявить закономерности постсейсмической активности [1, 2, 4].

На основе выявленных закономерностей разработаны прогнозные модели для оценки пространственной зоны повторных толчков, магнитуды сильнейшего афтершока и длительности опасного периода. Для повышения точности пространственного прогноза по данным первых афтершоков создана модель на основе машинного обучения [3]. Все алгоритмы реализованы в информационной системе «Aftershock» (разработка для Кировского филиала АО «Апатит»), работающей в режиме реального времени. Система предоставляет два типа прогнозов: усредненный (на основе параметров основного толчка) и уточненный (с учетом данных первых часов афтершоковой активности).

Для управления рисками в «Aftershock» реализованы три стратегии: мягкая, направленная на минимизацию затрат на поддержание тревоги, жесткая, направленная на исключение пропусков событий, и нейтральная, обеспечивающая баланс между областью тревоги и пропусками событий. Оценка пространственной области по основному толчку представляет собой цилиндр, а по первым афтершокам – «стадион». Размер областей определяется с учетом степени важности прогноза.

Прогноз энергетического класса сильнейшего афтершока K_1 проводится на основе основного толчка и первых афтершоков по трем прогнозным стратегиям. Каждый тип прогноза реализует расчет и визуализацию оценок магнитуд сильнейшего афтершока по времени.

Длительность опасного периода, в котором возможно возникновение сильного афтершока, может быть оценена двумя способами: по усредненной оценке длительности всех серий, произошедших ранее, и с учетом фактического распределения афтершоков для текущей серии, зарегистрированных за 3–7 часов после основного толчка.

Разработанные алгоритмы и их программная реализация находят прямое практическое применение в службе прогноза и предупреждения горных ударов КФ АО «Апатит», что способствует обеспечению безопасности при ведении горных работ.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Корчак П.А., Жукова С.А., Меньшиков П.Ю.** Становление и развитие системы мониторинга сейсмических процессов в зоне производственной деятельности АО "Апатит" // Горный журнал. – 2014. – № 10. – С. 42-46.
2. **Баранов С. В., Моторин А.Ю., Шебалин П.Н.** Пространственное распределение повторных толчков в условиях техногенной сейсмичности. Текст: электронный // Физика Земли. – 2021. – № 4.
3. **Моторин А.Ю., Баранов С.В.** Оценка области повторных толчков по первым афтершокам на месторождениях Хибин // Физика Земли. – 2024. – № 6. – С. 164–177.
4. **Баранов С.В., Жукова С.А., Корчак П.А., Шебалин П.Н.** Продуктивность техногенной сейсмичности // Физика Земли. – 2020. – № 3. – С. 40–51.

ПАРАМЕТРЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО УРАЛА

А.С. Мурыськин, А.С. Зверева
ГИ УрО РАН, г. Пермь

При распространении в реальных средах сейсмические волны рассеиваются и несут информацию не только об источнике, но и о геологическом разрезе. Затухание сейсмических волн – снижение интенсивности упругих колебаний, обусловленное явлениями поглощения, геометрического расхождения и рассеяния энергии волн при распространении их в геологической среде по мере удаления от источника. Для расчета добротности наиболее распространенным является метод огибающих кода-волн [1]. Так же важна информация о потенциальной амплитуде сейсмического события в виде модели PGV (Peak Ground Velocity) – математическая модель, которая описывает связь скорости смещения грунта в конкретной точке пространства от магнитуды события и гипоцентрального расстояния [2].

В работе представлен результат определения PGV и добротности для горных пород на территории Среднего Урала. Для расчета PGV использовались данные сейсмического каталога, из которых собрана выборка с максимально широкими диапазонами по магнитуде и эпицентральному расстоянию. Получена модель, которую можно использовать для прогноза сейсмического эффекта на территории Среднего Урала. Итоговая зависимость выглядит следующих образом:

$$PGV=0.903 \cdot M-1.559 \cdot \log_{10} R-4.737,$$

где PGV – пиковая скорость смещения грунта, $м/с$, M – локальная магнитуда сейсмического события, R – гипоцентрального расстояние, $км$.

Для определения добротности использовался метод огибающей кода-волн на более 2500 сейсмических событий для получения частотной зависимости. В пределах Урала выделены области с различными характеристиками затухания сейсмической энергии. Выдвинута гипотеза, что отличия между областями связаны с различным геологическим строением литосферы в данных областях. Показано, что область Уральских гор обладает повышенным затуханием по сравнению с западной и восточной окраинами. Данные работы будут продолжаться и расширяться как в результате добавления новых станций сопредельных территорий, так и выполнения более глубокой интерпретации полученных результатов. Частотная для всего региона выглядит следующим образом:

$$Q(f)=95Q_0^{1.17}$$

Полученные результаты позволяют решать ряд практических и фундаментальных задач. Имея достоверную информацию о параметрах распространения сейсмических волн, можно оценить прогнозируемый сейсмический эффект от потенциального события, что уже позволяет решать задачи строительства промышленных и гражданских объектов, а также проектирования сетей сейсмических станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Aki K., Chouet B.** Origin of coda waves: source, attenuation, and scattering effects // Journal Geophysical Research. – 1975. – Vol. 80, № 1 – P. 3332–3342. – DOI: 10.1029/JB080i023p03322
2. **Douglas J.** Ground motion prediction equations 1964–2019 // United Kingdom, Glasgow: University of Strathclyde. – 2019. – 641 p. – URL: <http://www.gmpe.org.uk/gmpereport2014.pdf> (дата обращения 10.05.2024).

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ФОНА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

С.Б. Наумов
ФИЦ ЕГС РАН, г. Владивосток

Исследование характеристик сейсмического фона имеет большое значение для выявления сейсмических сигналов от удаленных землетрясений. На сейсмических станциях Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (ФИЦ ЕГС РАН) реализована возможность синхронной, с точностью не хуже ± 1 мс, регистрации сейсмических сигналов. Это дает возможность их совместной обработки применительно к задачам обнаружения и выделения слабых сейсмических сигналов [1]. Наличие корреляции между сигналами сейсмического фона позволяет улучшить качество обнаружения слабых сейсмических сигналов и вызвавших их сейсмических явлений. В [2] описаны результаты оценивания взаимно-корреляционных функций (ВКФ) и функций когерентности вертикальных компонент сейсмической скорости. Сигналы зарегистрированы велосиметрами сейсмических станций «Мыс Шульца», «Залив Посыета», «Владивосток». Наблюдения велись в полосе частот 0.01–1 Гц, в период с 31.12.2018 г. по 01.01.2019 г. Отмечается, что в полосе частот 0.2–0.8 Гц наблюдался сдвинутый на 42 с устойчивый максимум ВКФ данных сигналов на станциях «Мыс Шульца» и «Залив Посыета». Расстояние между станциями составляет 29.3 км, причем большая часть соединяющей их прямой линии проходит по акватории залива Петра Великого и бухты Новгородской.

В данной работе описаны результаты оценивания взаимно-корреляционной функции вертикальных компонент сейсмической скорости, зарегистрированных с помощью, установленных на названных станциях велосиметров 16 августа 2021 г. на интервале от 0 до 20 часов, время UTC (с 10:00 16.08.2021 г. до 06:00 17.08.2021 г. местного времени).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В., Китов И.О., Константиновская Н.Л., Непеина К.С., Нестеркина М.А., Санина И.А. Обнаружение сверхслабых сигналов на малоапертурной сейсмической антенне «Михнево» с помощью кросскорреляции волновых форм // ДАН. – 2015. – Т. 460, № 6. – С. 707–709.
2. Горовой С.В., Наумов С.Б., Овчаренко В.В. Корреляция сейсмосигналов, одновременно зарегистрированных разными сейсмостанциями в Приморском крае // Материалы докладов XII Всероссийского симпозиума «Физика геосфер». – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2021. – С. 201–207.

РЕГИСТРАТОР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ ADS1285

¹А.В. Неешпапа, ²А.Н. Антонов, ¹В.М. Агафонов, к.ф.-м.н.

¹ООО «Р-сенсорс», г. Долгопрудный

²МФТИ, г. Долгопрудный

Особенностью сейсмологических исследований являются максимальные требования к динамическому диапазону и разрешению регистрирующей аппаратуры. Высокая детализация первичных записей помогает более точно определить параметры сейсмических волн, такие как амплитуда, частота и фаза, что важно для анализа и интерпретации данных. С помощью регистраторов высокого разрешения можно обнаруживать и анализировать слабые сейсмические сигналы, которые могут быть незаметны на фоне посторонних сигналов, если использовать устройства с меньшим динамическим диапазоном. Это особенно важно при изучении тонких структур земной коры и процессов, происходящих на больших глубинах.

В 2022 г. компания Texas Instruments представила на рынке высокоразрядную микросхему АЦП ADS1285 [1], которая была положена в основу разработки новой, наиболее продвинутой версии сейсмического регистратора NDAS-8426N.

ADS1285 представляет собой высокоточный 32-разрядный АЦП на базе архитектуры сигма-дельта с полнофункциональным набором встроенных цифровых фильтров. Данный АЦП продолжает линейку высокоразрядных АЦП ADS128х, начатую в 2007 году. Особенности микросхемы, помимо высокого разрешения, являются энергоэффективность и температурный диапазон от -40°C до 85°C .

Разработанный на основе микросхемы регистратор содержит 6 АЦП высокого разрешения, прецизионный источник опорного напряжения, генератор тестовых сигналов, приемник GPS/GloNASS, генератор тактовых импульсов с подстройкой частоты. Управление микросхемами АЦП, сбор и обработка сигналов осуществляется посредством одноплатного компьютера Beaglebone Green под управлением операционной системы Linux DEBIAN. Устройство способно работать при широком входном диапазоне питания – от 7.5 до 60 В при средней потребляемой мощности 2.5 Вт.

Помимо встроенных фильтров микросхемы, программное обеспечение регистратора содержит цифровые антиалайсинговые фильтры с понижением частоты опроса в 2, 4 и 10 раз. Комбинацией таких фильтров обеспечиваются частоты опроса от 1 до 4000 *отс/с*. Среднеквадратичное значение шума составило 200 *nV* при частоте опроса 100 *Гц*, и при измеряемом сигнале ± 2.5 В обеспечивает 139 *дБ* динамического диапазона, определенного как отношение средних мощности гармонического сигнала максимальной амплитуды и шума в *дБ*. Программное обеспечение позволяет выполнять автономную регистрацию (miniSeed, ASCII, binary) и потоковую передачу данных (Seedlink) в реальном времени. Наряду со стандартными одноканальными пакетами реализована передача данных сокращенными пакетами длительностью 0.1 *сек*. При использовании фильтров с минимальной фазовой характеристикой это уменьшает время задержки и делает использование данного регистратора особенно эффективным для систем мониторинга и раннего предупреждения.

Разработанные аппаратные и программные решения практически реализованы в виде семейства регистраторов, предназначенных для подключения аналоговых приборов – сейсмометров и акселерометров, что делает их универсальным решением как для построения наиболее качественных систем мониторинга на базе сетей TCP/IP с высокими требованиями к надежности передачи данных, так и для автономной регистрации данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ADS1285 32-Bit, Delta-Sigma ADC for Seismic Applications* – URL: https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2411271957_Texas-Instruments-ADS1285IRHBT_C6066489.pdf

ПРИРОДНАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ЮЖНОМ ЗАУРАЛЬЕ

М.Ю. Нестеренко, д.г.-м.н., Э.Р. Галеева, В.С. Белов
Отдел геоэкологии ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург

Возросшая сейсмическая активность при проведении буровзрывных работ (БВР) на промышленных площадках по добыче твердых полезных ископаемых (ТПИ) ставит под угрозу геоэкологическую безопасность Южного Зауралья [1].

Исследуемая территория относится к слабосейсмичным, но при этом регистрируются сильные землетрясения, превышающие прогноз по картам ОСР-2015 по шкале MSK-64 в Ясненском районе Оренбургской области.

Южное Зауралье богато твердыми полезными ископаемыми, добываемыми из недр земли открытым (карьер) и закрытым (шахта) способом. Для быстрой и эффективной добычи ТПИ применяются БВР, которые приводят к увеличению сейсмичности из-за импульсных нагрузок на геологическую среду.

Выявлено, что в зону 6-бальной (превышающей прогнозную по карте ОСР-2015) сейсмической активности попадают жилые, общественно-деловые, производственные зоны, а также зоны сельскохозяйственного использования и лесного фонда, которые подвержены геоэкологическому риску.

Настоящие исследования сейсмической активности восточной части Оренбургской области основаны на информации о зарегистрированных сейсмических событиях с 2006 по 2024 г. включительно. За этот период на исследуемой территории произошло 13681 землетрясение, из них 7 с интенсивностью 6 баллов по шкале МСК-64. Все сейсмические события проанализированы по времени событий, по глубине залегания гипоцентров, по мощностным характеристикам, по выделенной энергии и ее плотности в тектонических структурах.

Федеральные нормы и правила безопасности при применении взрывчатых веществ в горнодобывающих производствах не учитывают все факторы, влияющие на величину сейсмического воздействия [2]. Для более детального изучения всех происходящих сейсмических явлений и оценки уровня техногенной сейсмической активности на территории, прилегающей к разрабатываемым рудникам, необходимо создание опорных сейсмических станций. Конкретное определение сейсмически безопасных расстояний возможно только на основании натурных измерений, позволяющих учесть все факторы, влияющие на образование и распространение сейсмических волн.

Для обеспечения геоэкологической безопасности Южного Зауралья необходимо создание сети сейсмических станций для полного и точного анализа влияния БВР на геодинамичность территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов В.С., Нестеренко М.Ю., Галеева Э.Р. Техногенно-тектоническая сейсмическая активность восточного Оренбуржья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7–1. – С. 93–104. – DOI: 10.25018/0236_1493_2024_71_0_93
2. Верхованцев А.В. Контроль сейсмического воздействия БВР по результатам круглогодичного мониторинга // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. Вып. 15 – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2017. – С. 203–205.

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ В ДЕЛЬТЕ Р. ЛЕНЫ

М.А. Новиков, А.А. Крылов, к.ф.-м.н.
ИО РАН, г. Москва

Дельта р. Лены находится на стыке Сибирской платформы и Усть-Ленского рифта – западной части рифтовой системы моря Лаптевых. В этом регионе неоднократно были зафиксированы относительно глубокие землетрясения, несмотря на нахождение его на пассивной континентальной окраине, где литосфера обычно истончена растяжением [1]. По данным временной сети сейсмостанций, развернутой в дельте р. Лены в 2016–2018 гг., большинство зарегистрированных микроземлетрясений локализируются в пределах верхних 30 км: треть очагов сосредоточена по глубине в верхних 10 км, свыше половины — в интервале 10–20 км, десятая часть — между 20 и 30 км. Лишь единичные события располагаются ниже 30 км, то есть мощность активного сейсмогенного слоя составляет ~30 км.

Было проведено сравнение полученного глубинного распределения сейсмичности с Байкальской рифтовой зоной, которая, как и район дельты Лены, представляет собой активную зону континентального растяжения, находящуюся на границе стабильной платформы и складчатого пояса [2]. Только десятая часть событий происходит в верхних 10 км, тогда как приблизительно три пятых очагов сосредоточено в диапазоне 10–20 км; еще около четверти фиксируется в диапазоне 20–30 км, а хвост распределения фиксируется до 40 км. Таким образом, мощность активного сейсмогенного слоя здесь достигает 35–40 км.

Западная ветвь Восточно-Африканского рифта, находящаяся на стыке Нубийской и Сомалийской плит, демонстрирует еще больший разброс. В районе массива Рувензори около шестой части очагов лежит выше десяти километров, тогда как почти три четверти заключены в интервале 10–20 км; остаток сосредоточен в нижней коре, а события ниже 30 км не зарегистрированы [3]. Южнее, вблизи озер Танганьика и Малави, доля глубоких очагов возрастает: неглубоких событий (до 10 км) здесь намного меньше и значительное число очагов наблюдаются до самой границы мантии (~45 км). Компиляция региональных и телесеismicических данных показывает, что резкие изменения максимальной глубины очагов могут происходить в пределах нескольких десятков километров и контролируются составом нижней коры: глубокие землетрясения отмечаются там, где она дегидрирована, а в более гидратированных областях очаги ограничены верхней корой [3].

Сравнение глубинного распределения сейсмичности трех районов, расположенных на стыке сегментов холодного рифтинга и стабильных платформенных зон, выявило их определенное сходство, а именно значительное число очагов в нижней коре. В Байкальской и Восточно-Африканской рифтовой зонах очаги наблюдаются вплоть до границы Мохо, что свидетельствует о сухой, мафической и хрупкой до высоких температур нижней коре [2, 3]. В дельте р. Лены сейсмогенный слой ограничен 30 км, что может свидетельствовать об обычном переходе пород в вязкоупругое состояние при температуре 300–400°C.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-17-00125 и госзадания № FMWE-2024-0026 (сравнение характеристик разных рифтовых зон).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аветисов Г.П., Гусева Ю.В.* Глубинное строение района дельты Лены по сейсмологическим данным // Советская геология. – 1991. – № 4. – С. 73–81.
2. *Déverchère J., Petit C., Gileva N., Radziminovitch N., Melnikova V., San’Kov V.* Depth distribution of earthquakes in the Baikal rift system and its implications for the rheology of the lithosphere // *Geophysical Journal International*. – 2001. – Т. 146, № 3. – С. 714–730. – <https://doi.org/10.1046/j.0956-540x.2001.1484.484.x>
3. *Craig T.J., Jackson J.A.* Variations in the Seismogenic Thickness of East Africa // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 2021. – Т. 126, № 3. – <https://doi.org/10.1029/2020jb020754>

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА СЕВЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

¹Н.Н. Носкова, ²В.Э. Асминг

¹ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

²КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты

Сейсмологический мониторинг на территории Республики Коми выполняется сейсмическими станциями Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Сыктывкар» (SYK), «Инта» (IN0) и «Воч» (VOCH, с. Нижний Воч Усть-Куломского района). Благодаря открытию в 2021 г. сейсмической станции «Инта» появилась возможность регистрировать техногенную сейсмичность на территории Республики Коми [1].

Летом 2023 г. были организованы экспедиционные сейсмологические работы на Полярный Урал для выяснения фактической сейсмической обстановки в северных районах республики [2]. Временная сейсмостанция устанавливалась в трех пунктах наблюдений. Было выявлено, что станцией «Инта» зарегистрирована лишь малая часть событий [3], обнаруженных временной станцией. Проведенные сейсмологические наблюдения показали необходимость установки стационарной сейсмической станции на севере республики, что и было сделано спустя год. 20 июня 2024 г. на территории Республики Коми был открыт новый пункт сейсмологических наблюдений ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в г. Воркуте. Станция имеет следующие характеристики: код VORK, координаты 67.5005° N, 64.1150 ° E, $h=207$ м, оборудование CM-3KB+UGRA.

Станцией «Воркута» фиксируется около 600 локальных сейсмических событий в месяц. Преимущественно это горные, горно-тектонические удары, промышленные взрывы и другие динамические явления на карьерах и в угольных шахтах Воркутинского угледобывающего района. Инструментальная обработка сейсмических событий в основном проводится по одиночной станции VORK. Для этого используется программа одностанционного детектирования и локализации NSS, являющаяся частью системы NSDL, разработанной в КоФ ФИЦ ЕГС РАН [4]. Открытие новой сейсмической станции позволило расширить регистрационные возможности сети станций ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, а также понизить порог представительности регистрируемых сейсмических событий на севере республики до $ML \geq 0$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-17-00106).

ЛИТЕРАТУРА

1. Носкова Н.Н., Попов И.В., Машин Д.О. Новый пункт сейсмических наблюдений на территории Республики Коми // Геофизические исследования. – 2023. – Т. 24, №3, – С. 52–68. – DOI: <https://doi.org/10.21455/gr2023.3-3>
2. Носкова Н.Н., Верхованцев Ф.Г. Временные сейсмические наблюдения на севере Республики Коми (Полярный Урал) в 2023 году // Вестник геонаук. – 2025. – 2(362). – С. 34–43. – DOI: 10.19110/geov.2025.2.4
3. Носкова Н.Н., Верхованцев Ф.Г., Асминг В.Э., Ваганова Н.В., Попов И.В. Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 году // Вестник геонаук. – 2024. – 1 (349). – С. 34–42. – DOI: 10.19110/geov.2024.1.4
4. Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В., Евтюгина З.А. Автоматическая система мониторинга региональной сейсмичности NSDL. Принципы построения и некоторые результаты использования // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко.

ВОДОРОДНАЯ ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ И СВЯЗЬ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

М.М. Османова
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

Территория Дагестана характеризуется высокой сейсмичностью, мелкофокусность землетрясений позволяет предполагать, что многие из них контролируются развитием структур земной коры, получающих отражение в особенностях рельефа и тектоники [1]. Рельеф Дагестана сформирован в верхнем палеозое, особенностями которого являются тектоническая обособленность, тенденция восходящего развития рельефа и зональное распределение элементов рельефа [2].

Некоторые легкие газы, в том числе водород и гелий, образующиеся глубоко внутри континентов, просачиваются на поверхность благодаря явлению дегазации. В земных недрах гелий образуется при радиоактивном распаде тория, урана и их дочерних нуклидов. Обычно газ содержится в смеси других газов.

Этот процесс полностью не изучен, так как теоретические модели предполагают растворение легких газов в глубинной воде и их перемещение за счет диффузии по насыщенным водой порам [3, 4]. Водород выделяется при кристаллизации твердого ядра из жидкого и накапливается в верхней его части на границе с мантией на глубине около 3000 км, откуда просачивается к поверхности Земли по постоянно существующим и действующим каналам дегазации. Гравитационное воздействие со стороны Луны и флуктуация геомагнитного поля, вызванная всплесками солнечной активности, усиливают дегазацию [5].

В ДФ ФИЦ ЕГС РАН проводится мониторинг содержания водорода в приземной атмосфере с целью установления корреляционной связи между формированием и реализацией очагов землетрясений и изменением концентрации водорода на пунктах наблюдений. По полученным данным строятся временные ряды концентрации водорода и дисперсии концентрации водорода, которые анализируются и сопоставляются с сильными землетрясениями Земли. Также анализируется связь вариаций среднесуточных концентраций водорода с сейсмическими событиями, выделяя зоны общего, максимального и минимального средних значений.

На временном ряду концентрации водорода выделяются гармоники разной периодичности. Отмечено, что на гармонике годовой периодичности в осенне-зимний период наблюдается повышение концентрации водорода в приземной атмосфере с максимальными значениями в январе, а в весенне-летний период – понижение концентрации с минимальными значениями в августе, причём период максимальных значений характеризуется нестабильностью значений, в отличие от периода минимальных значений концентрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Милановский Е.Е.* Новейшая тектоника Кавказа//Недра.– 1968.
2. *Леонов М.Г.* Поэзия Кавказских гор // Природа. – 2003. – №7. – С. 25–35
3. *Иванов М.* Результаты: геофизика. Химия и жизнь. – 2023. – № 6. – С. 45–47.
4. *Chenq A., Lollar B.S., Gluyas J.G., Ballentine C.J.* Primary N₂–He gas field formation in intracratonic sedimentary basins // Nature. – 2023. – Т. 615. – №. 7950. – P. 94–99. – DOI: 10.1038/s41586-022-05659-0. – EDN:GMEXLX.
5. *Сывороткин В.Л.* Глубинная дегазация Земли и геоэкологические проблемы приграничных территорий России // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. – 2013. – Т. 3. – №. 1. – 15 с. – EDN: QJFCX.

КАРТИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ЗАРУБЕЖНЫХ НОРМАХ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (ОБЗОР) И МОДЕРНИЗАЦИЯ НОРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В РФ

В.А. Павленко, к.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

Представлены краткие описания карт сейсмической опасности, входящих в строительные нормы стран Евросоюза [1] (на примере Швейцарии) и еще 14-ти стран мира, имеющих в составе своих территорий сейсмоактивные регионы: США [2], Японии [3], Турции [4], Ирана, Китая, Австралии [5], ЮАР [6], Новой Зеландии [7], Казахстана, Кыргызстана, Армении [8], Азербайджана, Узбекистана [9] и Украины.

Имеются существенные различия в картировании сейсмической опасности в разных странах, которые, очевидно, определяются такими факторами, как уровень сейсмической опасности, развитость сетей сейсмических наблюдений, степень изученности территории, рельеф и плотность населения. В картировании сейсмической опасности ряд стран опирается на методы и подходы Евросоюза (ЮАР, Казахстан, Кыргызстан), другие страны – на опыт США (Турция, Иран); некоторые бывшие республики СССР сохраняют методы и подходы норм СССР (Азербайджан, Украина, Узбекистан). Япония, Китай, Австралия, Новая Зеландия и Армения, используя опыт других стран, развивают собственные методы и подходы.

На основе обзора предлагаются шаги по модернизации карт сейсмической опасности в России, позволяющие сохранить все прогрессивные методики, разработанные в прошлые годы. Особенности РФ являются обширная территория с разными по уровню сейсмических воздействий и типам сейсмичности регионами, редкая сеть сейсмических наблюдений, недостаточная изученность грунтовых условий.

Для получения оценок пиковых ускорений и спектров реакции, необходимых для сейсмостойкого проектирования и строительства, территория РФ условно делится на регионы, относительно однородные в сейсмическом плане, для которых строятся уравнения прогноза движений грунта, связывающие параметры колебаний поверхности с магнитудой землетрясения и расстоянием от очага, на основе которых рассчитываются карты сейсмической опасности. Идет работа по получению таких оценок для Байкальской рифтовой зоны и Северного Кавказа (регионов преобладающей коровой сейсмичности), Кольского полуострова и Карелии (областей стабильной континентальной сейсмичности), Урала (региона переходной сейсмичности).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance* – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf>
2. *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers. – doi: <https://doi.org/10.1061/9780784414248>
3. *Ishiyama Y.* Earthquake Damage and Seismic Code for Buildings in Japan. 2012. Hokkaido University. http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/pdf/meeting/120817/M6_Ishiyama.pdf
4. *Turkish Building Seismic Code (TBSC)*. 2018. 416 P. Available at: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf>
5. *AS1170.4* – Australian Standard. Structural design Actions Part 4: Earthquake Actions in Australia.
6. *South African National Standard. Basis of structural design and actions for buildings and industrial structures*. Part 4: Seismic actions and general requirements for buildings SANS 10160-4:2017. https://civils.org.za/Portals/0/pdf/publications/sans/SANS10160-4_dss.pdf
7. *NZS 1170-5 (S1)* (2004) (English): Structural design actions – Part 5: Earthquake actions – New Zealand Commentary [By Authority of New Zealand Structure Verification Method B1/VM1]. <https://archive.org/details/nzs.1170.5.s1.2004>
8. *СНПА 20.04-2020*. Строительные нормы Республики Армения. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Ереван, 2020. 80 с.
9. *КМК 2.01.03-19*. Строительство в сейсмических районах // Минстрой РУз. – Ташкент, 2019. – 111 с.

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

¹Р.А. Пашаян, к.г.н., ¹Д.К. Карапетян, к.г.н., ²Л.В. Арутюнян, к.г.н., ¹К.Г. Товмасын

¹ИГИС НАН РА, г. Ереван, Армения

²ИОНХ НАН РА, г. Ереван, Армения

Современная геодинамика глубинных разломов региона включает изучение процессов, которые происходят в разломных зонах земной коры. Крупными активными разломами Армении являются Гарнийский, Памбак-Севанский, Желтореченск-Сарикамышский, Ахурянский и Ереванский. Выявление и изучение зон активных разломов помогает решать проблемы современной геодинамики, является элементом проведения сейсмического районирования. Глубинные разломы являются поверхностями, вдоль которых земная кора и мантия Земли перемещаются относительно друг друга, на границах которых происходит реализация тектонических напряжений, накапливаемых в земной коре. Гарнийский разлом (ГР), один из активных разломов на территории Армении, имеет СЗ простирание и протягивается от г. Нахичевань до зоны сочленения Желтореченск-Сарикамышского, Памбак-Севанского и Ахурянского разломов и состоит из нескольких сегментов. Выявлена миграция очагов землетрясений с ЮВ на СЗ вдоль Гарнийского разлома. Миграционный цикл завершился катастрофическим Спитакским землетрясением 1988 года.

С февраля 1992 г. вновь наметилась активизация на СЗ и на ЮВ краях разлома. Сейсмогенный разрыв Спитакского землетрясения 1988 г. является структурным продолжением Гарнийского разлома. Активизация некоторых разломов, после Спитакского землетрясения выразилась лишь приуроченностью к ним афтершоков, тогда как вдоль Гарнийского, Памбак-Севанского и Желтореченск-Сарикамышского разломов наряду с этим возникли сейсмогенные разрывы [1]. Гарнийский разлом выделяется также высокой тектонической активностью. Проводилось сопоставление сходства и различия для разломных зон, расположенных в разных геолого-тектонических и геодинамических обстановках. Дополнительными признаками современной активности разлома служат: приуроченность к зоне разлома эпицентров землетрясений, гидродинамические и гидрохимические аномалии, свидетельствующие о современной проницаемости [2]. Геодинамика и активность глубинных разломов рассматривается нами в зависимости от напряженности тектонических блоков земной коры территории Армении, схема блокового строения земной коры приводится в работе [3].

В представленной работе для оценки современной геодинамики глубинных разломов применялась методика исследования, основанная на совместном использовании геологического, сейсмологического, гидрогеодинамического, гидрогеохимического, деформационного и наклономерно-деформографического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И. Спитакское землетрясение как проявление современной тектонической активности. – 1990, Геотектоника. – № 6. – С. 46–60.
2. Караханян А.С. Активные разломы и сильные землетрясения Анатолийско-Малокавказского орогена. Автореферат док.диссерт. РАН, Объединенный институт физики им. О.Ю. Шмидта. – 1995. – 45 с.
3. Пашаян Р.А., Туманян Г.А. Проявления периодичности в геодинамических процессах земной коры региона Армении по данным гидрогеодинамических скважин. Сборник научных трудов конференции, посвященной 50-летию основания ИГИС им. академика А. Назарова НАН РА. – Изд. «Гитутюн» НАН РА, Гюмри, 2011 г. – С.166–181

РАЗРУШИТЕЛЬНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 13.04.2025 Г., $I_0=8$ БАЛЛОВ, В ТАДЖИКСКОЙ ДЕПРЕССИИ

¹Н.В. Петрова, к.ф.-м.н., ¹М.И. Рыжикова, ¹И.Н. Соколова, д.ф.-м.н., ²Т.Р. Улубиева
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ГС НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан

Анализируются инструментальные и макросейсмические данные о землетрясении 13 апреля 2025 г. с $MS_{MOS}=M_{WGCM}=5.9$, произошедшем в Таджикабадском районе Таджикистана на северо-востоке Таджикской депрессии. В ряде населенных пунктов в долине р. Сурхоб, на расстояниях 7–25 км от эпицентра, землетрясение вызвало разрушительные последствия, соответствующие 7 баллам по шкале ШСИ-17 [1]. Интенсивность в эпицентре, рассчитанная по уравнению макросейсмического поля Н.В. Шебалина с коэффициентами для Таджикской депрессии [2], составила 8 баллов. Землетрясение произошло в высокосейсмичном районе Таджикистана, известном разрушительными землетрясениями с интенсивностью в эпицентре I_0 до 9–10 баллов, и является рядовым событием этого района.

Землетрясение записано девятью стационарными сейсмическими станциями Геофизической службы Национальной академии наук Таджикистана и сотнями станций международных сейсмологических центров по всему миру. Определены основные параметры землетрясения, установлена приуроченность его эпицентра к молодому Яфучскому разлому северо-восточного простирания, параллельному более древнему Илякско-Шахшскому глубинному разлому. Рассчитан механизма очага, представляющий надвиг по нодальной плоскости, совпадающей по простиранию и падению с аналогичными характеристиками для Яфучского разлома.

С помощью публикаций в СМИ, соцсетях и на сайтах международных сейсмологических агентств (USGS, CSEM) собраны сведения о макросейсмических проявлениях землетрясения в 33 пунктах, построена карта «пункты-баллы». Для построения карты изосейст данных недостаточно.

Проанализированы записи акселерометров на 44 сейсмических станциях Центральной Азии, по максимальным амплитудам ускорений оценена инструментальная интенсивность в этих пунктах, которая в большинстве случаев оказалась ниже наблюдаемой. Наиболее вероятно, это связано с условиями установки акселерометров на выходах коренных пород и в штольных, что соответствует грунтам I категории, в отличие от грунтов II и III категории в населенных пунктах. Максимальное ускорение $A_{max}=11.6 \text{ см/с}^2$ было зарегистрировано на компоненте север-юг станции «Душанбе» (DSH05), удаленной от эпицентра на расстояние 188 км, что соответствует интенсивности сотрясений около 5 баллов. Другой акселерометр в Душанбе показал ускорения, соответствующие 4 баллам. Аномально высокие значения ускорений на станции DSH05 связаны, вероятно, как с неблагоприятными грунтовыми условиями, так и с частотным составом колебаний. Привлечение к расчетам максимальных амплитуд скорости (PGA) и мощности волны (PGA-PGV) на станции DSH05 дает, по формулам связи этих характеристик с инструментальной интенсивностью из [1], более реалистичную величину сотрясений – около 4 баллов.

Землетрясение сопровождалось интенсивным афтершоковым процессом: за неделю с момента главного толчка зарегистрированы и обработаны 92 афтершока с $M=2.6$ –4.7 и множество более слабых. Самые крупные афтершоки были ощутимыми.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 57546-2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
2. *Коньков А.А.* Определение коэффициентов макросейсмического поля Таджикской депрессии. Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана. Т. 2-4. – Душанбе: Дониш, 1975. – С. 70–72.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

¹Г.Р. Петросян, ²А.М. Аветисян, ¹В.Ю. Бурмин
¹ИФЗ РАН, г. Москва, Россия
²ИГИС им. А. Назарова НАН РА, г. Гюмри, Армения

7 декабря 1988 г. на северо-западе Армении в районе г. Спитак произошло катастрофическое землетрясение. Это землетрясение было одним из самых разрушительных в конце XX века, нанеся значительный ущерб и унеся много жизней [1, 2, 3].

Изучение разных землетрясений приводит к некоторым проблемам, которые связаны с доступностью и точностью данных. Отбор экспериментальных данных и их предварительная обработка – это фундамент многих сейсмологических задач. Но эта проблема остается недооцененной и практически не исследованной. Анализ проблемы показывает, что, несмотря на достигнутые успехи, построение точной и полноценной базы сейсмологических данных еще далеко впереди. И важно отметить, что каждое землетрясение представляет собой уникальный и непредсказуемый процесс, а каждое незарегистрированное землетрясение может иметь большое значение для оценки ожидаемой сейсмической опасности.

В докладе, на примере Спитакского землетрясения, приводится информация об анализе качества проектирования и строительства жилых и общественных зданий массовых серий в северных районах Армянской ССР (ныне Республика Армения), выявлении причин их разрушения, отсутствия достоверной базы данных сейсмологической информации. Также в рамках исследования проведено изучение причин значительного ущерба, нанесенного землетрясением, и его социально-экономических последствий для местного населения на момент катастрофы и в настоящее время [3].

Таким образом, исследование последствий землетрясений сейчас имеет ключевое значение для обеспечения безопасности и устойчивости общества в условиях меняющегося мира. Эти исследования помогают нам не только подготовиться к будущим сейсмическим рискам, но и лучше понять, как справляться с последствиями, когда землетрясения уже произошли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Arakelyan F.O., Darbinyan S.S., Hakopyan H.A., Mnatsakanyan V.L., Mikaelyan A.N., Poghosyan O.K.* Macroseismic Investigation of Power Plants and Instrumental Records of the Spitak-88 Earthquake // *Proceedings of International Seminar on Spitak-88 Earthquake*. Sponsored by UNESCO. – Yerevan, 1989. – P. 447–451.
2. *Burmin V.Yu., Shemeleva I.B., Fleyfel L.D., Avetisyan A.M., Kazaryan K.S.* Results of seismological data processing for the territory of Armenia // *Seismological Instruments*. – 2017. – Vol. 53, No. 2. – P. 103–110. – Do: 10.3103/S0747923917020050
3. *Хачиян Э. Е.* Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года: Основные сейсмологические характеристики и анализ его разрушительных последствий (к тридцатилетию землетрясения) // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. – 2018. – № 4. – С. 9–30. – <https://inform.seismoconstruction.ru>.

О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Р.С. Пивоваров, М.А. Ефременко, к.г.-м.н., С.П. Пивоваров
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Территория южной части Восточно-Европейской платформы характеризуется умеренной тектонической активностью. Самые сильные инструментально зарегистрированные землетрясения имели магнитуду ~ 5 (Сальское 22.05.2001 г. с $M_s=4.7$, $I_0=6-7$, (Ростовская обл.), Мариупольское 07.08.2016 г. с $M_s=4.7$, Запорожская обл.). С 2000 г. инструментально зарегистрировано 15 тектонических землетрясений с магнитудой больше 2.3, все землетрясения коровые. Большинство из них ощущались, макросейсмический эффект достигал 6 баллов по шкале МСК-64. Кроме того, в рассматриваемом районе наблюдается мощная техногенная нагрузка на геологическую среду, что может способствовать увеличению числа техногенных и природно-техногенных землетрясений, а также ускорить процесс подготовки тектонических землетрясений.

В связи с этим, необходимо проведение непрерывного мониторинга сейсмических событий на территории юга ВЕП, а также детальное изучение сейсмического режима. Общая конфигурация сейсмической сети ФИЦ ЕГС РАН не обеспечивает регистрацию слабых событий с $ML \leq 2.5$ на всей исследуемой территории. Это связано с тем, что сеть станций распределена на территории юга ВЕП неравномерно, состоит из трех компонентных станций, большинство из которых имеют высокий уровень сейсмического шума, так как расположены вблизи источников техногенных и природных шумов. Большой вклад в регистрацию событий разной природы на территории ВЕП вносит малоапертурная сейсмическая группа (МСГ) «Михнево» [1]. Ежегодно сейсмический каталог, сформированный по результатам обработки МСГ «Михнево», содержит несколько сотен событий, не зарегистрированных сетью трехкомпонентных станций. Главным недостатком МСГ «Михнево» является невозможность получения с нее информации в режиме реального времени.

Для обработки сейсмических событий на юге ВЕП эффективно будет использование сейсмической группы (СГ) AKASG (PS45) Международной системы мониторинга организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, расположенной на территории Украины. Сейсмическая группа AKASG является среднеапертурной (апертура 25 км), состоит из 23 вертикальных элементов, установленных в скважинах, глубиной от 19 до 97 м, и одной широкополосной 3х компонентной станции. Данные станции доступны в режиме реального времени.

Были исследованы возможности использования СГ AKASG для мониторинга событий юга ВЕП, а также совместно с трехкомпонентными сейсмическими станциями. Показана эффективность AKASG в обнаружении и локализации землетрясений и взрывов.

Рассмотрены наиболее сильные землетрясения, произошедшие на территории юга ВЕП за инструментальный период, приведены данные о параметрах событий, геолого-тектонической обстановке, макросейсмическом эффекте, а также особенностях волновой картины и спектральном составе записей [2].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Санина И.А., Ризниченко О.Ю., Волосов С.Г., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л. Уникальной научной установке «Михнево» ИДГ РАН – 15 // Динамические процессы в геосфере. – 2019. – № 11. – С. 48–56. – DOI: <https://doi.org/10.26006/IDG.2019.11.38623>
2. Пивоваров Р.С., Ефременко М.А. Землетрясение 1 февраля 2025 г. на юге Восточно-Европейской платформы // Российский сейсмологический журнал. – 2025. – Т. 7, № 1. – С. 88–94. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.1.07>. – EDN: KOSBQX

О ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

С.П. Пивоваров, М.А. Ефременко, к.г.-м.н., Р.С. Пивоваров
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Сетью сейсмических станций, работающей на территории центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП), регистрируются местные сейсмические события, включающие тектонические землетрясения и промышленные взрывы.

При обработке и интерпретации местных сейсмических событий для определения энергетического класса K_p традиционно используется номограмма Т.Г. Раутиан [1].

Ранее было показано, что при регистрации техногенных событий поперечные волны в отдельных случаях, практически не выделяются, рассчитать энергетический класс K_p не представляется возможным [2]. Начиная с 2022 г. для зарегистрированных промышленных взрывов, кроме K_p , дополнительно определяется магнитуда по поверхностной волне MS (MLV) [2]. С 2023 г. дополнительно к выше приведенным энергетическим характеристикам, было внедрено определение локальной магнитуды ML [3]. Целью настоящей работы было установление корреляционных соотношений между магнитудами MS (MLV), ML и энергетическим классом K_p на территории центральной части ВЕП.

Для преемственности энергетических параметров в каталогах центральной части ВЕП был проведен анализ величин K_p , MS , ML и получены их корреляционные соотношения. Использовались станционные бюллетени за вторую половину 2023 г., весь 2024 г. и три месяца 2025 г., содержащие динамические замеры объемных и поверхностных волн местных сейсмических событий различной природы. Анализировались данные сейсмических станций «Новохоперск», «Дивногорье» VORD, «Галичья гора» LPSR, всего ~ 800 значений в диапазоне $3.0 \leq K_p \leq 10.8$, $0.4 \leq MS \leq 2.9$, $0.6 \leq ML \leq 3.3$.

Полученные значения ML будут использованы для уточнения региональной магнитудной кривой ML , для расчета станционных магнитудных поправок, а также для улучшения качества сейсмического бюллетеня Центральной части ВЕП.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР. – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – № 9 (176)) – С. 75–114.
2. Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Пивоваров Р.С. Возможность определения магнитуды MS техногенных сейсмических событий на территории Воронежского кристаллического массива // Российский сейсмологический журнал – 2022. – Т. 4, № 2. – С. 33–41. DOI: 10.35540/2686-7907.2022.2.03. – EDN: IHFDLM
3. Рихтер Ч. Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: Иностранная литература, 1961. – С. 13–44.

СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «МАХАЧКАЛА» ФИЦ ЕГС РАН 75 ЛЕТ

Н.Л. Пономарева, М.М. Ахмедова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

В декабре 2026 г. сейсмической станции «Махачкала» ФИЦ ЕГС РАН исполняется 75 лет.

После разрушительного Ашхабадского землетрясения 6 октября 1948 г. руководство страны признало необходимым перестроить, значительно расширить и организационно укрепить работы в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства. В соответствии со специальным постановлением Правительства «По усилению сейсмологических исследований и прогноза землетрясений на территории СССР», принятом в 1949 г., в сейсмоактивных регионах Советского Союза было предусмотрено строительство большого количества сейсмических станций и оснащение их современной аппаратурой.

В 1950 г. в Махачкале был выбран участок для строительства сейсмостанции в 4 км от города. Строительство здания сейсмостанции было завершено в октябре 1951 г., а 8 декабря того же года была получена первая сейсмограмма.

Неоценима роль сейсмостанции «Махачкала» в регистрации форшоков основного толчка и многочисленных афтершоков землетрясения 14 мая 1970 г., $M=6.6$.

В ноябре 2004 г. сейсмостанция «Махачкала» была оснащена цифровым оборудованием SDAS и двумя комплектами сейсмоприемников: короткопериодными СМЗ-КВ и широкополосными СМЗ-ОС. Сотрудники станции в короткие сроки освоили пакет программ WSG, что позволило быстрее обрабатывать землетрясения и подавать срочные донесения в Службу срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН в г. Обнинске. Несмотря на то, что на сегодняшний день станция уже находится в черте города и расположена в осадочных отложениях, цифровая обработка позволила увеличить дальность регистрации землетрясений даже при высоком уровне шумов.

Следующим шагом развития сейсмостанции стало завершение в 2015 г. строительства выносного павильона и установка в нем широкополосного сейсмометра Trilium и сейсмического регистратора «Угра». Это позволило существенно повысить порог чувствительности сейсмостанции «Махачкала» – используя различные методы фильтрации, удастся обрабатывать локальные землетрясения $K \leq 5,1$ в радиусе 25–30 км.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Габсатарова И.П., Маловичко А.А., Старовойт О.Е.* История инструментальных наблюдений на Северном Кавказе (очерк) // Геофизический журнал. – 2008. – Т. 30, № 5. – С.50–72.

ВАРИАЦИИ УРОВНЯ МИКРОСЕЙСМ И РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАЙКАЛА

^{1,2}П.А. Предеин, к.г.-м.н., ^{1,2}Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н., ³М.А. Хритова, к.т.н.

¹ГИ им. Н. Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ

²БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ

³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

По данным непрерывной регистрации за 2020–2022 гг. проведена оценка вариаций спектральной плотности мощности (СПМ) микросейсмического шума на 21 станции Байкальского и Бурятского филиалов ФИЦ ЕГС РАН. Проанализировано влияние природных и антропогенных факторов на шумовую обстановку в пунктах наблюдения и на регистрационные возможности сети станций в районе Центрального Байкала.

Рассчитанные значения медианного уровня СПМ вертикальных колебаний сравнивались с максимальным (NHNМ) и минимальным (NLNM) уровнями Мировой модели шума [1]. Для большей части станций в районе Центрального Байкала среднегодовая мощность шума превышает уровень, полученный осреднением моделей NHNM и NLNM. Всего было выделено девять опорных пунктов наблюдения, для которых медианный уровень СПМ не превышает среднемировой.

Для всех станций сети минимальный уровень микросейсм в диапазоне коротких периодов наблюдается в зимние месяцы, максимум фонового шума получен летом или осенью. Увеличение уровня шума на частотах около 1 Гц в осенне-летний период с максимумом в октябре–ноябре связано с влиянием озерных микросейсм [2]. Для ряда станций в этот период характерно также повышение уровня мощности шума в высокочастотной области, связанное с ветровой нагрузкой. Значительное влияние оказывают антропогенные источники шума, что отражается в суточных вариациях уровня микросейсм. На большинстве пунктов наблюдения мощность шума в дневное время суток возрастает более чем на порядок на частоте 10 Гц, нет существенных отличий уровня день–ночь только для 2–3 станций сети.

Анализ представительности каталога сводной обработки Байкальского филиала за 2015–2020 гг. для области Центрального Байкала показал, что суточные и сезонные вариации микросейсмического шума оказывают значительное влияние на количество регистрируемых землетрясений вследствие шумовой дискриминации сейсмических сигналов [3].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Peterson J.** Observations and modeling of background seismic noise // US Geol. Surv. Open-File Rept. – 1993. – Т. 9. – №. 3.
2. **Беседина А.Н., Тубанов Ц.А., Предеин П.А., Санжиева Д.П., Иванченко Г.Н.** Особенности микросейсм озера Байкал по данным сети сейсмических станций // Физика земли. – 2024. – №3. – С. 30–50. DOI: 10.31857/S0002333724030041
3. **Журавлев В.И., Сидорин А.Я.** Поиск влияния микросейсмического шума на количество регистрируемых землетрясений в Таджикистане с использованием сезонного репера // Сейсмические приборы. – 2021. – Т. 57, № 4. – С.66–80. – DOI: <https://doi.org/10.21455/si2021.4-5>

ОЧАГ И ОЧАГОВАЯ ЗОНА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КРЫМСКОМ РЕГИОНЕ 22 ИЮНЯ 2023 ГОДА С $M_w=4.8$

¹Б.Г. Пустовитенко, д.ф.-м. н., ²М.Н. Бондарь

¹ГАОУ «КРЦ», г. Симферополь

²ИСГ, г. Симферополь

22 июня 2023 г. в Севастопольском районе Крымского региона, в зоне, сформированной за 50 лет, в «сейсмической брешии» произошло ощутимое землетрясение с $K_p=12.5$ и $M_w=4.8$. Это сейсмическое событие является наиболее сильным для Севастопольского района за последние 25 лет. Его очаг приурочен к переходной зоне корамантия места сочленения крупных сейсмолинеаментов: Одесско-Синопского и Южнобережного, ориентированных диагонально.

Землетрясение возникло в обстановке горизонтальных сжимающих напряжений со взбросовой подвижкой в очаге [1]. Обе нодальные плоскости ориентированы близдиагонально, одна из которых в азимуте простираения $STK=54^\circ$ совпадает с решением по методу ТСМ (среднее значение $STK=50\pm 4$ по 3 агентствам [2]) и ориентацией зоны афтершоков в азимуте 50° . Из пространственно-временного распределения повторных толчков следует, что процесс разрушения среды в очаговой зоне шел снизу вверх от начального гипоцентра, распространяясь в юго-западном направлении.

По записям объемных сейсмических волн P и S на 6 региональных станциях Крыма восстановлены также динамические параметры очага с использованием теоретической дислокационной модели Брюна [3]. Установлено, что в очаге землетрясения с радиусом круговой дислокации $r_0=1.33$ км произведена работа, эквивалентная скалярному сейсмическому моменту $M_0=1.78\cdot 10^{16}$ Нм для смещения берегов разрыва на величину $u=10.5$ см при общей деформации сдвига в окрестности очага $\varepsilon=10.9\cdot 10^{-5}$ и энергия дислокации $E_d=9.6\cdot 10^{11}$ Дж. Сброшенное и кажущееся напряжения составили $32.6\cdot 10^5$ Па и $8.5\cdot 10^5$ Па, соответственно. Полученное положительное значение радиационного трения $\Delta\sigma_r=7.8\cdot 10^5$ Па дает основание предполагать гладкое скольжение по разрыву. По отношению к полной энергии деформации среды в очаговой зоне (или сейсмическому моменту) доля энергии E_S , излученная в виде сейсмических волн, составила $E_S/M_0=1.8\cdot 10^{-4}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э., Бондарь М.Н. Особенности очаговых параметров землетрясений Крыма 2023 года // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В.И. Вернадского География. Геология. – 2024. – Том 10 (76), № 4. – С. 138–155.
2. *International Seismological Centre* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/> (дата обращения: 01.02.2024).
3. Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // Journal of Geophysical Research. – 1970. – V. 75, N 26. – P. 4997–5009.

О ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОГНОЗОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ИХ ЭКСПЕРТИЗЫ

В.А. Салтыков, д. ф.-м. н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Как показал опыт работы Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений и оценке сейсмического риска (КФ РЭС), достаточно часто заключения о развитии сейсмической обстановки, подаваемые исследователями, лишь содержат отдельные элементы, необходимые для прогноза, что явно недостаточно. Экспертиза таких заключений затруднена или даже невозможна, что осложняет учет таких данных при анализе сейсмической обстановки и выработку комплексной прогнозной оценки. В докладе представлена желательная форма подачи прогнозных заключений, исключающая неоднозначную трактовку.

Одной из основных задач КФ РЭС является оценка подаваемых прогнозов сильных землетрясений [1]. И если оценка реализации прогноза в первом приближении не вызывает сложностей, то предварительная, на время подачи прогноза, оценка качества прогноза в каком-либо виде часто бывает затруднительна. Особенно это касается новых или недавно представляемых прогностических методик, то есть методик «без истории» в КФ РЭС.

Исходя из опыта работы КФ РЭС в течение 25 лет, следует разделять некоторые типичные ситуации, связываемые с подачей прогностических заключений, их экспертизой и оценкой их реализации:

1. Впервые подаваемый прогноз. Формулировка прогноза соответствует требованиям.

2. Относительно новая методика прогнозирования. Статистика результативности методики отсутствует.

3. Имеющиеся в КФ РЭС материалы (представление или опубликование авторами собственного ретроспективного анализа) поведения предвестника в течение длительного времени с указанием интервалов тревог, ложных тревог, пропуска цели.

4. Достаточно продолжительная история подачи прогностических заключений по определенной методике. Наличие статистики реализации прогнозов.

Очевидно, что все эти ситуации различны и поэтому требуют разных методических подходов к их анализу, позволяющих сформировать некую оценку качества прогнозов. Ситуации перечислены в хронологическом порядке их возникновения, что соответствует увеличению их желательности и корректности для экспертизы.

В докладе представлены используемые в КФ РЭС методики оценки результативности прогнозов и/или предвестников. Все используемые параметры оценки прогностических методик и их применения на практике формализованы и имеют ясный физический смысл.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-00604-25 с использованием данных, полученных на УНУ «СКМАК и КНСМ РФ» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К.** Прогнозирование землетрясений на Камчатке. По материалам работы Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска в 1998–2009 гг. – М.: Светоч Плюс, 2011. – 304 с.

ОСОБЕННОСТИ АФТЕРШОКОВ ВИЛЮЧИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 03.04.2023 Г. $M_w=6.6$ (КАМЧАТКА)

В.А. Салтыков, д.ф.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В докладе проведен анализ афтершоковой активизации, наблюдавшейся на юге Авачинского залива (Камчатка) в результате Вилючинского землетрясения 03.04.2023 $M_w=6.6$ ($\varphi=52.58^\circ N$, $\lambda=158.78^\circ E$, $h=105$ км), на основе каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1, 2] Общая продолжительность этой активизации оценивается как 450 сут.

Область, рассматриваемая как зона афтершоков, определена как 3σ эллипса рассеяния афтершоков первого месяца. Представительность этой области в целом составила $M_c=2.25$ по уровню значимости $\alpha=0.3$. Линейные размеры исследуемой области ограничены по горизонтали эллипсом с осями $a=34$ км (азимут $\alpha=117^\circ$), $b=22$ км, в диапазоне глубин $h=95-105$ км. Ориентация эллипса соответствует одной из двух нодальных плоскостей механизма мэйншока. Эллипс, предлагаемый как оценка очага Вилючинского землетрясения, имеет следующие параметры: широта и долгота центра $\varphi=52.60^\circ N$, $\lambda=158.74^\circ E$, большая ось $a=23\pm 1$ км, меньшая ось $b=15\pm 1$ км, азимут большей оси $\alpha=117^\circ$.

Выделены две стадии в затухании потока афтершоков N :

1. в соответствии с законом Омори $\frac{dN^*(t)}{dt} = \frac{K_I}{t}$ и продолжительностью 8.4 сут.,
2. с экспоненциальным затуханием $\frac{dN^*(t)}{dt} = K_{II} \cdot \exp(-\frac{t}{\tau})$ ($\tau=140$ сут.) до выхода на уровень фоновой сейсмичности. По числу землетрясений две стадии сопоставимы. Фаза смены режимов соответствует по времени интервалу между сильнейшими афтершоками – 11.04.2023 г. $M_L=5.5$ и 21.04.2023 г. 15:22 $M_L=4.9$. Показано, что эти два землетрясения являются дуплетом на основании высокой коррелированности волновых форм – $R=0.92\pm 0.02$ и близости их эпицентров – $\Delta=1.4$ км. Показано резкое постсейсмическое уменьшение наклона графика Гутенберга-Рихтера b в 1.5 раза после сильнейшего афтершока 11.04.2023 г. $M_L=5.5$, с последующим восстановлением в течение всего экспоненциального режима афтершоков. Вариации параметра b в режиме Омори не выявлены.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckprf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>)

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеброва А.Ю., Чемарёв А.С., Матвеев Е.А., Чебров Д.В. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. – 2020. – Том 21, № 3. – С. 66–91.
2. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. – наст. вр.) <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ $lg(As/Ar)$ И ВЕЛИЧИНА ДОБРОТНОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

И.А. Санина, д.ф.-м.н. Г.Н. Иванченко к.ф.-м.н.,
Н.Л. Константиновская, О.А. Усольцева к.ф.м.н.
ИДГ РАН, Москва

Центральная часть Восточно-Европейской платформы (ВЕП) относится к пассивным территориям по своей сейсмической активности, при этом подвержена интенсивной техногенной нагрузке. Представляет несомненный интерес изучение влияния этого фактора на тектоническую обстановку на данной территории. Начиная с 2004 г. малоапертурная сейсмическая группа (МСГ) «Михнево» ведет непрерывный мониторинг сейсмических событий на ВЕП, которые в основном являются взрывами более, чем на 300 карьерах. Эти наблюдения за 2006–2023 гг. были использованы для изучения вариаций динамических параметров сейсмических волн. Результаты наблюдений за временными вариациями динамических параметров сейсмических волн, зарегистрированных на МСГ «Михнево» от двух групп карьеров, расположенных в субмеридиональном и субширотном направлениях относительно МСГ, выявили временной тренд и годичную периодичность величины $lg(As/Ar)$, а также анизотропию этого параметра. На основе анализа геолого-структурных особенностей исследуемой территории показано, что выявленные азимутальные различия могут быть объяснены изменением напряженно-деформированного состояния активного разлома, разделяющего блоки земной коры вдоль трассы сейсмических лучей [1]. Дальнейшие исследования показали, что временным вариациям подвержены только верхние слои земной коры до глубин порядка 17–20 км. Нижняя часть коры оставалась стабильной за весь период наблюдений.

Величина добротности (Q) для территории ВЕП практически никогда не оценивалась. Единственные работы были выполнены в середине прошлого века и касались восточной части региона. В [2] приведены результаты оценки Q , где в качестве экспериментальных данных рассмотрены два взрыва на Михайловском ГОКе. Расчеты велись по двум методикам – оценка амплитудного коэффициента затухания и отношение амплитуд спектральных составляющих в зависимости от расстояния, широко применяемые ранее к интерпретации данных глубинного сейсмического зондирования. В результате получены средние значения параметра добротности по двум методикам – $Q_{ср}$ составляет порядка для P -волн=376 и для S - волн: $Q_{SE}=1068$ и $Q_{SN}=897$.

Мы понимаем, что использование только двух взрывов не дает возможности рекомендовать полученные значения для расчетов, например, синтетических сейсмограмм, но должны простимулировать дальнейшие исследования, т.к. полученные результаты значительно отличаются от общепринятых для ВЕП.

Работа выполнена в рамках ГЗ ИДГ РАН № 125012200561-3 и 125012200570-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санина И.А., Иванченко Г.Н., Константиновская Н.Л., Усольцева О.А. Временные вариации динамических характеристик сейсмических волн и их связь с геологоструктурными условиями центра Восточно-Европейской платформы // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2024. – Т. 51, № 4. – С. 73–84. – DOI 10.21455/VIS2024.4-6. – EDN NVIKK
2. Санина И.А., Константиновская Н.Л., Овчинникова О.В., Усольцева О.А., Волосов С.Г., Гоев А.Г., Тарасов С.А., Юдочкин Н.А., Шарафиев З.З. Оценка параметра добротности по данным наблюдений вдоль профиля «Карьер «Михайловский» – МСГ «Михнево» // Динамические процессы в геосфере. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 23–37. – DOI: http://doi.org/10.26006/29490995_2023_15_2_23

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ В СЕВЕРНОЙ ОСЕТИИ: ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СТАНЦИИ «ЦЕЙ»

¹А.А. Саяпина, ²С.В. Горожанцев, к.г.-м.н., ¹Т.В. Чивиева

¹СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Сейсмическая станция «Цей» (код ZEI), основанная в 1984 г. в Цейском ущелье Северной Осетии, стала первым инструментальным пунктом мониторинга региона. Созданная по инициативе О.Е. Старовойта (ОМЭ ИФЗ АН СССР), она изначально размещалась на территории альпинистского лагеря, а к 1989 г. переехала на постоянную площадку с просторным производственным зданием и павильоном для оборудования [1].

За десятилетия работы станция прошла путь от аналоговых приборов (СКМ-3) до цифровых систем. В 1991 г. она сыграла ключевую роль в изучении афтершокового процесса одного из сильнейших землетрясений на Кавказе – Рачинского землетрясения ($M=7.0$), став базой для российско-американской экспедиции. Модернизация 2003 г. (цифровой регистратор SDAS, сейсмометры СМЗ-ОС) способствовала интеграции станции в созданную к тому времени сеть мониторинга Северной Осетии, а с 2009 г. внедрение высокоскоростного канала связи и специальных программ обеспечило передачу данных в режиме, близком к реальному времени. Эти изменения позволили включить «Цей» в список станций, обрабатываемых Службой срочных донесений Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН, сделав ее важным звеном системы оперативного оповещения и мониторинга сейсмоактивности региона.

За время работы деятельность станции неоднократно сталкивалась с серьезными проблемами, особенно в период экономического кризиса 1990 гг. и временного закрытия в 2018 г. из-за физического износа зданий и оборудования. После пятилетнего перерыва станция вновь заработала в 2023 г. За первые полтора года после восстановления она зарегистрировала 2108 сейсмических событий, что составило 45.5 % от общего числа событий, зафиксированных сетью СОФ ФИЦ ЕГС РАН. Благодаря современному оборудованию и низкой техногенной зашумленности местности станция способна регистрировать сейсмособытия на большом удалении, значительно повышая качество мониторинга на юге Северной Осетии и раннего предупреждения о возможных рисках.

Перспективы развития станции «Цей» связаны с установкой сейсмоинфразвукового комплекса для мониторинга близкорасположенных ледников. Это позволит изучать подвижки ледниковых масс, прогнозировать селевые потоки и интегрировать данные сейсмологии, гляциологии и климатологии, создавая основу для междисциплинарных исследований в условиях изменений климата.

Несмотря на трудности, связанные с природными условиями и ограниченными возможностями наземной инфраструктуры, станция успешно адаптировалась и сохраняет непрерывность мониторинга даже в экстремальных условиях. Возрождение станции при условии оснащения современным техническим оборудованием открывает новые возможности для глубокого изучения сейсмических процессов и эффективного противодействия природным угрозам.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Старовойт О.Е. Мишаткин В.Н.* Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – Москва–Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.

СИСТЕМА СБОРА, ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ДОСТУПА К СПУТНИКОВЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ ФИЦ ЕГС РАН

И.А. Сдельникова, Ю.В. Габсатаров, П.Г. Бутырин, А.Н. Хотинская
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

ФИЦ ЕГС РАН уже более 25 лет обеспечивает функционирование сети опорных ГНСС-станций на территории России. Работа сети опорных станций ФИЦ ЕГС РАН играет важную роль в решении задач крупномасштабной геодинамики, моделирования деформационных процессов, изучения ионосферы и тропосферы. Широкое применение методов ГНСС для целого ряда научных и прикладных задач приводит к необходимости совершенствования систем сбора, хранения и передачи ГНСС-данных, а также создания и развития информационных ресурсов, направленных на распространение накопленных данных и результатов их обработки.

Система сбора, обработки, хранения и доступа к спутниковым геодезическим данным ФИЦ ЕГС РАН включает в себя несколько сервисов.

Сервис сбора данных работает в автоматическом потоковом режиме с формированием 15-минутных файлов исходных данных и суточного файла данных, которые ежедневно поступают на хранение в архив со всех станций. Кроме того, исходные файлы измерений конвертируются в универсальный формат обмена ГНСС-данными RINEX (The Receiver-Independent Exchange Format) и также заносятся в архив.

Обработка исходных ГНСС-измерений осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения GAMIT/GLOBK разработки Массачусетского технологического института (MIT). Сервис рутинной обработки данных позволяет в автоматическом режиме обрабатывать данные с использованием указанного пакета. Файлы с результатами первичной обработки заносятся в архив и используются для дальнейшей обработки.

В настоящее время организован персонализированный доступ к исходным данным в формате RINEX для заинтересованных пользователей при наличии соглашения об обмене данными. Пользователями ГНСС-данных ФИЦ ЕГС РАН является ряд российских учреждений, к числу которых относятся: ИФЗ РАН, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, МФТИ, АО «Российские космические системы» (РКС), ФГБУ «Центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных», ВНИИФТРИ и др.

Концепция единой информационной системы доступа к геофизическим данным ФИЦ ЕГС РАН [1] подразумевает создание удобного сервиса авторизованного доступа к различным уровням геодинамических данных. ФИЦ ЕГС РАН может предоставлять следующие уровни геодинамических данных: первичные измерения в формате RINEX; результаты первичной обработки; результаты постобработки: многолетние временные ряды положений станций, оценки скоростей их смещений; результаты моделирования различных геодинамических процессов [2].

Центральной компонентой развиваемой системы является база данных, индексирующая содержимое хранилища данных и содержащая метаданные по станциям. На данный момент разработана структура базы данных, проведена систематизация и актуализация архива спутниковых геодезических данных сети опорных станций ФИЦ ЕГС РАН за весь период наблюдений начиная с 1997 г. Данные первого уровня занесены в базу данных с организацией авторизованного доступа через веб-интерфейс. Проводится разработка информационных ресурсов следующих уровней доступа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бутырин П.Г., Красилов С.А.* Единая система хранения и доступа к геофизическим данным. Традиции и новые подходы // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 4. – С. 77–87. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.4.05. – EDN: MEFWKZ
2. *Габсатаров Ю.В., Владимирова И.С., Сдельникова И.А.* Геодинамический мониторинг в ФИЦ ЕГС РАН: современное состояние и перспективы развития // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 4. – С. 7–23. DOI: 10.35540/2686-7907.2022.4.01. – EDN: MHBLYM.

РАСПОЗНАВАНИЕ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ ПО ЗАПИСЯМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ ККАР

^{1,2}Н.А. Сейнасинов

¹КазННТУ им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

²ИГИ НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Одной из наиболее эффективных в мониторинге сейсмических событий в Центральной Азии является сейсмическая группа (СГ) «Каратау» (ККАР), которая установлена в 2002 г. в Жамбылской области на юге Казахстана. Она состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой. Апертура группы 4 км, сейсмометры установлены в скважинах глубиной 50–60 м [1]. ККАР расположена вдали от источников техногенных помех, на гранитном массиве, в связи с чем кривая спектральной плотности сейсмического шума близка к нижнеуровневой мировой модели шума [2]. Это определяет тот факт, что СГ ККАР очень чувствительна к регистрации слабых сигналов. Так, на расстоянии 50 км минимальный энергетический класс $K_{\min}=2.4$, а представительный $K_{\text{пред}}=2.9$, на расстоянии 500 км – $K_{\min}=4.7$, $K_{\text{пред}}=5.2$, а для 1000 км – $K_{\min}=6.24$, $K_{\text{пред}}=6.74$ [3]. С вводом в действие ККАР энергетический уровень представительности регистрируемых всей сетью станций землетрясений в районе южного Казахстана был снижен на единицу.

Для изучения пространственно-временного распределения сейсмичности, оценки геодинамических процессов необходимо на регулярной основе проводить комплекс работ по сейсмическому распознаванию природы сейсмических источников. В ИГИ НЯЦ РК для распознавания взрывов и землетрясений используются записи сейсмических и инфразвуковых станций, при этом используется ряд признаков (критериев): местоположение и глубина события, спектральные отношения амплитуд P/S, спектр записи, наличие инфразвуковых сигналов. Однако даже комплекс этих методов не позволяет в настоящее время распознать сейсмические события со 100 % уверенностью.

Проведен ряд работ для распознавания взрывов и землетрясений, с использованием принципиально другого подхода. Для исследования были выбраны эталонные взрывы на территории в радиусе до 200 км от СГ ККАР: это серия взрывов на военных складах в Арыси и Жамбылской области [4], карьерные взрывы фосфоритового месторождения Коксу и землетрясения вблизи месторождения.

Для анализа были вычислены значения функции взаимной корреляции пар записей и создана симметричная корреляционная матрица. Произведено группирование событий по способу кластерного анализа с построением дендрограммы, отражающей расстояния между объектами [5]. Кроме того, для всех классов событий рассмотрены спектрограммы. На основе анализа всех имеющихся параметров было проведено уточнение природы событий, выявлены события, которым в финальном каталоге был присвоен тип – тектоническое землетрясение, тем не менее, они являлись карьерными взрывами или природно-техногенными землетрясениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко В.Г., Неделков А.И., Комаров И.И. Новая сейсмическая группа «Каратау» в Казахстане // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник. – НЯЦ РК, 2002. – Вып. 2(10). – С. 9–13
2. Peterson, J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico. – 1993. – 42 p.
3. Сейнасинов Н.А., Михайлова Н.Н. Магнитудная чувствительность сейсмической группы Каратау в мониторинге сейсмичности Центральной Азии // Вестник НЯЦ РК. – 2022. – Вып. 2. – С. 23–31.
4. Сейнасинов Н.А., Михайлова Н.Н. Взрывы боеприпасов близ г. Арыс по данным казахстанской сети мониторинга // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 3. – 33 с.
5. Ассиновская Б.А., Габсатарова И.П., Панас Н.М., Юски М. Сейсмические события 2014–2016 гг. на Карельском перешейке и их природа // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 40–61. – DOI: 10.21455/si2018.1-4

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ТУРБИН ГЭС

**В.С. Селезнев, д.г.-м.н.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск**

«Трагические события на Саяно-Шушенской ГЭС 2009 г. должны еще раз нам напомнить о достаточно простых вещах, о которых мы, к сожалению, зачастую забываем, – о том, что системы контроля безопасности, инфраструктура российских предприятий в целом в настоящий момент требуют предельного внимания. В ряде случаев эта инфраструктура неэффективна и нуждается в безотлагательной модернизации, иначе мы будем расплачиваться самыми тяжелыми вещами». Так сказал Д.А. Медведев после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС.

Разбираясь в причинах аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, мы поняли, что кавитационный износ турбины привел к повышенным вибрациям и, соответственно, к возникновению трещин в болтах, крепящих крышку турбины. Но износ турбины также вызывает нелинейное взаимодействие турбины с потоком воды, а это приводит к тому, что в сейсмическом поле появляется набор частот кратных частоте вращения турбины. Эти частоты можно регистрировать за несколько километров от ГЭС на сейсмологических станциях [1] и определять какая из турбин подверглась сильному износу.

В докладе приведены результаты по нескольким ГЭС. Этот метод является простым и дешевым и позволяет предотвращать аварии подобные аварии на Саяно-Шушенской ГЭС.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Seleznev V.S., Liseikin A.V., Bryksin A.A., Gromyko P.V.* What caused the accident at the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power plant (SSHPP): A seismologist's point of view // *Seismological Research Letters*. – 2014. – Vol. 85, № 4. – P. 817–824. – DOI: 10.1785/0220130163. – EDN UFDQTB.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СЕЙСМОЛОГИИ

**К.Ю. Силкин, к.г.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж**

Сверточные нейронные сети (СНС) – это искусственные нейросети, имеющие один или несколько сверточных слоев. Слои такого типа позволяют эффективно обрабатывать пространственные структуры и работать в приложениях компьютерного зрения.

СНС способны выполнять роль эксперта, который «смотрит» на массив данных и «видит» в нем те особенности, которые помогают ответить на вопрос, к ответу на который нейросеть была разработана. Например: «в данном фрагменте записи шум или сигнал?»; «это сейсмограмма землетрясения или взрыва?»; «такая запись характерна для события с какой магнитудой?»; «где произошло это событие?».

Как показано в работе [1], проблема состоит в том, что независимому исследователю не хватает ответа на два вопроса: 1) как надо изменить взятую из публикаций архитектуру, чтобы повторить достигнутый результат на независимых данных, и 2) как надо скорректировать взятый метод подготовки данных, чтобы получить настолько же успешную нейросеть при работе с независимыми данными.

Обзор изученности проблемы применения СНС в сейсмологии [2] показал, что в 2024 г. стало на 140 % больше статей, чем годом ранее. Причина в том, что за последние 2 года в США и Китае было создано несколько сейсмологических датасетов, подходящих для нужд СНС, которые исследователям сильно упростили работу с ними.

Одновременно произошел взрыв интереса к нейросетевой классификации природы события. Таким образом, в краткосрочной перспективе наиболее актуальной стала именно эта задача. Если смотреть дальше, то следует отметить такие направления, как: прогноз разной степени срочности; определение механизма очага землетрясения; оценка магнитуды; лоцирование источника; оценка схемы реализации крупных взрывов.

Для понимания перспективы важно знать, как обстоит дело с проблемой предварительной подготовки данных, подаваемых на входы СНС. Оказывается, в 65 % случаев никакой особой подготовки и не проводится. Просто малый фрагмент исходной сейсмограммы становится входом СНС. Иными словами, сохраняется высокая актуальность развития методики применения более интеллектуальных подходов подготовки данных: спектрограммы, вейвлетограммы, двоичные отпечатки и др.

Для СНС будет происходить внедрение инструментов моделирования, чтобы знать: 1) какая архитектура наиболее подходит для решения поставленной задачи; 2) как следует предопределить гиперпараметры слоев сети; 3) какой способ подготовки данных позволит лучше решить задачу; 4) какой объем датасета подготовить для надежного обучения сети с выбранным форматом данных; 5) какой ресурс времени предусмотреть.

Особо стоит отметить задачу создания специфически организованных датасетов, ориентированных на применение нейросетевых инструментов, например, [3].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Силкин К.Ю.** Сверточные нейронные сети и двоичные отпечатки как инструмент для распознавания природы сейсмических событий // Российский сейсмологический журнал. Обнинск: Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». – 2024. – Т. 6, № 3. – С. 77–92. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.3.05>.
2. **Силкин К.Ю.** Аналитический обзор публикаций по применению сверточных нейросетей в сейсмологии // Сейсмические приборы. – 2025. – Т. 61, № 1. – С. 36–48. – DOI: 10.21455/si2025.1-3.
3. **Li L., Wang W., Yu Z., Chen Y.** CREDIT-X1local: A reference dataset for machine learning seismology from ChinArray in Southwest China // Earthq. Sci. – 2024. – V. 37, Iss. 2. – P. 139–157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eq.s.2024.01.018>

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ ИЗ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ

¹И.Н. Соколова, ²И.Л. Аристова, ^{2,3}Д.К. Комекбаев

¹ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск

²ИГИ НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

³КАЗНИТУ, г. Алматы, Казахстан

Территория северо-западного Прикаспия в течение длительного периода подвергалась мощному техногенному воздействию. В советское время в этом районе находился полигон Азгир, на котором проводились мирные ядерные взрывы (МЯВ) в исследовательских целях для отработки технологии создания под землей полостей различного назначения. Полигон расположен на соляно-купольном поднятии Большой Азгир, на западной периферии Прикаспийской соленосной провинции, расположенной к северу от Каспийского моря. Соляно-купольное поднятие Большой Азгир объединяет два крупных соляных купола – Западный и Восточный Азгир, разделенных компенсационной мульдой Ужунтатор. МЯВ производились в массиве каменной соли (1966–1979 гг.) на глубинах 161–997 м, мощность взрывов составляла от 0.01 *кт* до 103 *кт*. В результате было создано 9 подземных полостей различного объема [1].

Примерно в 80 км к юго-востоку от полигона Азгир на Астраханском газоконденсатном месторождении за период 1980–1984 гг. было произведено 15 МЯВ «Вега» с целью создания хранилищ газоконденсата в соленосных отложениях на глубине ~1000 м, мощность взрывов составляла 3.2–13.5 *кт*.

Собраны и проанализированы данные о геолого-тектоническом состоянии районов полигонов, о современном состоянии технологических площадок, на которых проводились взрывы. Рассмотрены динамические и кинематические параметры МЯВ, произведенных на Азгире и МЯВ «Вега», зарегистрированные сейсмическими станциями на территории СССР (сеть КСЭ ИФЗ АН СССР) на эпицентральных расстояниях от 550 до 5950 км. Всего замерено ~700 исторических аналоговых и цифровых сейсмограмм. Проведено сравнение сейсмического эффекта МЯВ, проведенных в соли, с МЯВ, проведенных в других средах, в зависимости от мощности.

Кроме МЯВ на геодинамические процессы северо-западного Прикаспия влияет интенсивная добыча газа и газоконденсата, а также колебания уровня Каспийского моря. Согласно [2], в районе были выделены сейсмогенерирующие зоны – Азгирская и Астраханская. Параметры сейсмического режима этих структур: для Азгирской сейсмогенерирующей зоны: $M_{\max}=4.2$, $b=0.76$, глубина источника гипоцентров $h=20$; для Астраханской: $M_{\max}=4.7$, $b=0.76$, $h=20$. Поскольку в этом районе отсутствует сеть стационарных наблюдений, сейсмические события регистрируются станциями, расположенными на эпицентральных расстояниях более 500 км. Были собраны сейсмические записи землетрясений из района северо-западного Прикаспия, зарегистрированные региональными и глобальными сейсмическими сетями, определены параметры событий, составлен каталог.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметжанова Д.С., Севериненко М.А., Глущенко В.Н., Байсейтов Д.А., Макарова В.А., Козтаева У.П. Оценка радиационно-экологического состояния подземных вод на территории бывшего испытательного полигона Азгир в Западном Казахстане. *Journal of Geography and Environmental Management*. – 2023. – 69 (2). – DOI: <https://doi.org/10.26577/JGEM.2023.v69.i2.10>
2. Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. – Алматы: Хай Текнолоджи, 2012. – 267 с.

ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СРЕДЫ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РАЗРЕЗОВ (КОЛЫВАНСКИЙ И ВОСТОЧНЫЙ) ГОРЛОВСКОЙ ВПАДИНЫ

¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ¹А.А. Еманов, к.г.-м.н.,

²В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ¹С.А. Елагин, ¹А.Е. Шенмайер

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Горловская впадина расположена между Салаирским кряжем и Томь-Колыванской складчатой зоной. Со стороны последней, оформившейся в герцинский период, происходили активные тектонические движения, а Салаирский кряж, как жесткая к этому времени консолидированная глыба, являлся упором. Это, несомненно, сказалось на конфигурации прогиба, вытянутого по простиранию с небольшой шириной и высокой напряженностью в нем тектонических деформаций. Горловский угольный бассейн характеризуется крупнейшими в России запасами антрацита. Интенсивность его разработки существенно выросла в последнее десятилетие, соответственно формируется сейсмическая активизация недр Горловской впадины в ответ на техногенное воздействие [1].

Сейсмологический мониторинг в пределах Горловского бассейна осуществляется с использованием стационарных («Новосибирск» (NVS), «Харино» (KHAR)) и временных («Елба-ши» (KLV01), «Усть-Чем» (KLV02)) сейсмических станций. Последние расположены в районе добычи угля открытым способом для мониторинга сейсмического режима. С 2017 г. сейсмологический мониторинг дополняют режимные вибросейсмические наблюдения с вибратором ЦВ-40. Анализ рядов наблюдений за 2017–2022 гг. (рассматривались графики разности времен пробега на с/ст NVS и с/ст KLV01) показал практическое отсутствие вариаций, что связывалось с малой областью деструкции произошедших здесь в этот период техногенных землетрясений с магнитудой до 4.3 в осадочном чехле впадины [2].

По результатам последующих (2022–2024 гг.) режимных вибросейсмических наблюдений в районе разрезов Колыванский и Восточный в Горловской впадине выявлены вариации разности времен регистрации продольных волн на с/ст «Елбаши» (KLV01) и опорной с/ст Новосибирск (NVS), выражающиеся в закономерном уменьшении разности времен примерно на 0.005–0.007 с в конце 2023 г. и начале 2024 г.; для этого периода отмечено также уменьшение примерно в 2 раза количества зарегистрированных землетрясений и повышение суммарной энергии. В качестве согласования выявленных зависимостей высказано предположение, что при сильном увеличении площади угольных разработок в 2022–2023 гг. произошло уплотнение пород и накопление потенциальной энергии, которое привело к разрядке в виде крупного события с $M=4.7$ в конце 2023 года. Уменьшение количества землетрясений (или сейсмическое затишье) перед землетрясениями неоднократно отмечалось специалистами в разных регионах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А. Техногенная сейсмическая активизация в районе Горловского угольного бассейна // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 207–211.
2. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Еманов А.А., Елагин С.А., Серёжников Н.А., Галёва Н.А. Вибросейсмический мониторинг среды участков размещения крупных народнохозяйственных объектов в окрестности Новосибирска // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVII Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 108.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВНУТРИСУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ СЕЙСМИЧНОСТИ

^{1,2}Д.Г. Таймазов, к.ф.-м.н., ¹М.Г. Магомед-Касумов, к.ф.-м.н., ¹М.С. Султанмахмедов

¹Дагестанский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

²Институт геологии ДФИЦ РАН, г. Махачкала

Разработанный и реализованный в ДФ ФИЦ ЕГС РАН алгоритм исследования эндогенных вариаций сейсмичности по эквидистантным временным рядам условно накопленной сейсмической энергии (УНСЭ) [1–3], с одной стороны, и каталог ComCat [4] с разделением естественных и антропогенных событий, с другой, позволяют рассматривать вопрос о возможном влиянии антропогенных факторов на амплитуды внутрисуточных вариаций естественной сейсмичности. Для этого были обработаны данные каталога по территории Калифорнии (32° – 42° с.ш., 115° – 125° з.д.) за период 1993–2022 гг. Методика включала разбиение области на ячейки $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, построение для каждой ячейки временных рядов УНСЭ с часовой дискретизацией и их адаптивный гармонический анализ [3] для выделения внутрисуточных гармоник S1 и S2.

Анализ результатов показал, что в диапазоне энергетических классов 7–8 влияние антропогенных событий приводит к статистически значимому снижению амплитуд суточной гармоники S1 в ряде УНСЭ по естественным событиям. На наш взгляд, это может быть связано с эффектом «истощения среды», при котором техногенные воздействия ускоряют завершение сейсмических циклов естественных событий, акрофазы которых, как правило, выпадают на ночные часы, иницилируя часть из них в дневное время и тем самым снижая ночную сейсмическую активность. Для полусуточной гармоники S2 такой эффект не выявлен.

Амплитуды S1 в естественных событиях в диапазоне 5–6 классов обнаруживают положительную корреляцию с числом техногенных событий в окрестности ячеек.

Полученные результаты показывают перспективность использования алгоритма УНСЭ для выявления новых причинно-следственных связей между разными явлениями, сопровождающими сейсмический процесс.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственных заданий № 075-00604-25 и № 225012904069-2)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Таймазов Д.Г., Таймазов М.Д.* Способ реконструкции динамических процессов в земной коре по сейсмическим наблюдениям. Патент на изобретение RU 2659452 C2, 02.07.2018. Заявка № 2016119653 от 20.05.2016.
2. *Таймазов Д.Г., Шарапудинов Т.И., Магомед-Касумов М.Г., Султанмахмедов М.С., Таймазов М.Д.* Реконструкция геодинамических процессов по сейсмическим наблюдениям. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018616052, 22.05.2018. Заявка № 2017663460 от 25.12.2017.
3. *Таймазов Д.Г., Магомед-Касумов М.Г., Шарапудинов Т.И., Султанмахмедов М.С.* Адаптивный метод выявления приливных вариаций в слабой сейсмичности. Наука и технологические разработки. – 2022. – Т. 101, № 4. – С. 33–47.
4. **NCEDC.** Northern California Earthquake Data Center. 2014. – URL: <http://ncedc.org/>

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ SCALING-22 К ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

^{1,2}Д.Г. Таймазов, к.ф.-м.н.

¹ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

²ИГ ДФИЦ РАН, г. Махачкала

Несмотря на растущее число известных предвестников и публикаций по тематике, проблема прогноза землетрясений все еще далека от решения. Это наглядно показали дебаты, организованные на сайте журнала *Nature* в 1999 году. [1]. Участники представили весь спектр существующих мнений по этому вопросу – от полного отрицания возможности прогноза землетрясений до утверждения, что проблема уже решена. По мнению модератора дебатов [2] и те и другие часто искажают факты. За прошедшую после дебатов четверть века ситуация заметно не поменялась, что лишний раз подчеркивает сложность проблемы. Соглашаясь с мнением автора работы [3] об уникальности каждой сейсмогенной структуры как основной причины неудач в прогнозировании землетрясений, отметим, что предлагаемые им долговременные наблюдения за всеми предвестниками на всех структурах для выявления характерного набора предвестников – задача на далекую перспективу, а прогноз землетрясений востребован уже сегодня. С учетом этого, в работе [4] нами был предложен алгоритм прогноза землетрясений Scaling-22, в котором используются только сейсмические наблюдения и самоподобие сейсмического процесса в широком энергетическом диапазоне. Суть алгоритма заключается в выявлении характера пространственно-временного распределения параметров слабых землетрясений в зонах подготовки относительно сильных землетрясений-«образцов» и сопоставлении найденных закономерностей – векторов признаков (ВП) – с таковыми для прогнозируемых землетрясений. Прогноз предполагается осуществлять по прецеденту, исходя из критерия наилучшего соответствия сопоставляемых ВП. Однако реализация этого алгоритма затруднена в регионах с недостаточным уровнем представительности каталога землетрясений, к числу которых относится и Восточный Кавказ. В связи с этим предлагается адаптированный к таким регионам алгоритм – Scaling-25, в котором параметры слабых землетрясений заменены годовыми приращениями геофизических полей, связанных с деформационными процессами в земной коре. К таковым отнесены высокочастотный сейсмический шум, гравитационное поле, вертикальные движения земной коры, параметр τ и условно накопленная сейсмическая энергия [5]. Замена непрерывных наблюдений геофизических полей повторными с интервалом в 1 год существенно снизит их ресурсоемкость.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственных заданий № 075-00604-25 и № 225012904069-2)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Main, I.** Is the reliable prediction of individual earthquakes a realistic scientific goal? *Nature* (1999). DOI: <https://doi.org/10.1038/nature28107>
2. **Main, I.** Earthquake prediction: Concluding Remarks. *Nature* (1999).
3. **Szakács A.** (2021) Precursor-Based Earthquake Prediction Research: Proposal for a Paradigm Shifting Strategy. *Front. Earth Sci.* 8:548398. DOI:10.3389/feart.2020.548398
4. **Taimazov, D.G.** Scale Invariance of Earthquake Parameters and a Possible Algorithm for Their Prediction. *Seism. Instr.* 58 (Suppl 2), S356–S371 (2022).
5. **Таймазов Д.Г., Магомед-Касумов М.Г., Шарипудинов Т.И., Султанмахмедов М.С.** Адаптивный метод выявления приливных вариаций в слабой сейсмичности. Наука и технологические разработки. – 2022. – Т. 101, № 4. – С. 33–47.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ И РАСЧЕТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ: НОВЫЙ СТАНДАРТ

¹Р.Э. Татевосян, д.ф-м.н., ²С.Ф. Аптикаев, к.ф-м.н., ¹В.В. Быкова, к.ф-м.н.

¹ИФЗ РАН, г.Москва

²АО «Атомэнергoproject», г.Москва

Действующие в Российской Федерации нормативные документы, в той или иной степени регламентирующие работы по определению сейсмической опасности и расчётных сейсмических воздействий для объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), содержат положения и требования в общем виде, многие из которых устарели и не отвечают современным требованиям [1, 2]. Соответствующие руководства по безопасности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору («Ростехнадзор») в настоящее время либо также устарели и не отвечают современной практике, либо в них предлагается методика, не прошедшая должную апробацию. Кроме того, действующие в РФ нормы и правила в области использования атомной энергии, а также руководства по их применению в значительной мере не гармонизированы с международными стандартами МАГАТЭ [3] и недостаточно учитывают специфику и реальную потребность в конкретных исходных данных для проектных основ и определения сейсмостойкости объектов использования атомной энергии. При этом есть единичные исключения, которые, к сожалению, не меняют принципиально положение дел.

В настоящее время разрабатывается стандарт по определению сейсмической опасности и расчета сейсмических воздействий, в котором сделана попытка, с одной стороны, сохранить традиционные подходы, применяемые в РФ; с другой – максимально гармонизировать их с требованиями и рекомендациями современных стандартов МАГАТЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций*. НП-031-01. Госатомнадзор России. – Москва, 2001.
2. *Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС*. Части I, II. СП 151.13330.2012 Госстрой России. – Москва, 2012.
3. *Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations*. Specific Safety Guide No. SSG-9 (Rev. 1). IAEA. – Vienna, 2022.

«САСЫРСКОЕ» ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 8 ФЕВРАЛЯ 2025 Г.

^{1,2}Р.М. Туктаров, ¹А.С. Куляндина, ¹С.В. Шибает

¹ЯФ ФИЦ ЕГСРАН, г. Якутск

²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

8 февраля 2025 г. в 10^h43^m43^s по Гринвичу было зарегистрировано Сасырское землетрясение, с координатами эпицентра $\varphi=65.27^{\circ}\text{N}$ $\lambda=145.91^{\circ}\text{E}$. Очаг залегал на глубине 10 км, $M_b=5.2$, интенсивность в эпицентре 5.5–6 баллов по шкале MSK-64. Событие было зарегистрировано в пределах горного хребта Улахан-Чистай, в системе хребта Черского, на территории Momского района Республики Саха (Якутия). Землетрясение, сопровождалось макросейсмическими проявлениями, которые имели интенсивность до 4 баллов. Макросейсмические данные были собраны в 11 населенных пунктах, расположенных на северо-востоке Якутии, на расстоянии 57–240 км от эпицентра землетрясения, в пределах Momского и Оймяконского районов Республики Саха (Якутия).

Село Сасыр – ближайший населенный пункт, испытывавший наибольшие сейсмические эффекты от землетрясения, расположено в 57 км к северо-востоку от эпицентра землетрясения. Здесь толчки ощущались силой в 4 балла. Жители пос. Усть-Нера, Артык, Хонуу, так же как и жители села Победа, Чумпу-Кытыл, ощутили макросейсмические эффекты в 3 балла. Последнее ощутимое событие в пределах горного хребта Улахан-Чистай было зарегистрировано более 10 лет назад в 50 км к югу 20 января 2013 г. и имело энергетический класс $K=14.4$. Самые сильные макросейсмические проявления от него достигали 6–7 баллов в с. Сасыр.

Землетрясение 8 февраля 2025 г. относится к Арктико-Азиатскому сейсмическому поясу и было локализовано в сеймотектонической зоне горной системы Черского [1]. Для данной области представительны землетрясения с энергией $K \geq 8$ [3]. В тектоническом плане сейсмическое событие тяготеет к разлому Улахан, имеющему протяженность не менее 1500 км северо-западного простирания. Данная структура является пограничной зоной Евразийской, Североамериканской и Охотоморской плит [1, 2].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.** Активные разломы и сеймотектоника Северо-Восточной Якутии. – Якутск: ЯИГН СО РАН, 1990. – 140 с.
2. **Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.** Сеймотектоника Якутии. – М.: «Геос», 2000. – 224 с.
3. **Туктаров Р.М., Радзиминович Н.А., Шибает С.В.** Оценка представительности энергетического класса для Якутской региональной сети сейсмостанций // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2023. – Т. 50, № 3. – С. 5–16. – DOI: 10.21455/VIS2023.3-1

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН, ЗОНДИРУЮЩИХ ЗЕМНОЕ ЯДРО ПОД ВОСТОЧНОЙ АФРИКОЙ

О.А. Усольцева, к.ф.-м.н., В.М. Овчинников, д.ф.-м.н.
ИДГ РАН, г. Москва

Переходная зона внешнее-внутреннее ядро – наиболее изменяющаяся во времени и пространстве область в ядре Земли, в которой сосуществуют кристаллические дендритные структуры и остаточный расплав. Любые вариации в переходной зоне влияют на процессы конвекции во внешнем ядре и, следовательно, на магнитное поле Земли. Изучение участков волнового поля, где одновременно наблюдаются преломленные на небольшой глубине во внутреннем ядре волны PKiKP и отраженные от внутреннего ядра волны PKiKP, очень важно для понимания процессов в переходной зоне. Район настоящего исследования – зона под Восточной Африкой, где возможно проходит граница восточного и западного квазиполушарий, отличающихся скоростями продольных волн, и может по изменениям характеристик волн PKiKP и PKiKP служить маркером для проверки гипотезы [2] о смене в 2009 г. прогрессивного относительного вращения внутреннего ядра на регрессивное. В работе использованы сейсмограммы 173 пар землетрясений-двойников [1,2] на Южных Сандвичевых о-вах и зарегистрированных сейсмическими группами (Акбулак (AB) $\Delta_{\text{ср}}=128.5^\circ$, Боровое (BV) $\Delta_{\text{ср}}=135.7^\circ$, Каратау (KK) $\Delta_{\text{ср}}=128.6^\circ$, Маканчи (МК) $\Delta_{\text{ср}}=137.2^\circ$, Курчатов (KUR) $\Delta_{\text{ср}}=138.0^\circ$) в Казахстане и станциями сети KNET в Киргизии (AAK, AML, USP, TKM2, UCH, EKS2, KZA, $\Delta=129.2\text{--}131.1^\circ$) с временными интервалами наблюдений – 2002–2023 гг. и 1995–2015 гг. соответственно.

Кросс-корреляционный анализ сейсмограмм в полосе частот 1–2 Гц на 15-секундном интервале, включающем вступления волн PKiKP и PKiKP и коду, показал слабые вариации временных характеристик для пар землетрясений после 2003 г. и до 2015 г., что согласуется с утверждениями из [1] и [2] о минимальных временных вариациях в окрестности 2009 года. Установлено, что на группах BV и KUR наблюдается тенденция к уменьшению отношения амплитуд PKiKP/PKiKP, но остается неизменным на группе МК в период с 2015 по 2022 год.

Сравнительный анализ землетрясений-двойников на станциях в Казахстане с аналогичными землетрясениями, зарегистрированными сейсмической группой YKA в Канаде [2] на эпицентральной дистанции 139° , показал два характерных отличия. Первое связано с наличием предвестника за 10 с до вступления волны PKiKP на группах BV, МК, KUR. Одно из объяснений этого факта – существование дополнительной отражающей границы на ~50 км выше кромки внутреннего ядра. Второе заключается в существенном временном расхождении разностей времен пробега PKiKP и PKiKP волн на YKA и на KUR. С учетом поправок на эллиптичность расхождение составляет 2 с, что может быть обусловлено наличием локальных скоростных неоднородностей в областях зондирования внутреннего ядра под Центральной Америкой и Восточной Африкой.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания №125012200561-3) и с использованием волновых форм, полученных в Центре управления данными IRIS DMC (<https://ds.iris.edu>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Yang Y., Song X.** Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation // *Nat. Geosci.* – 2023 – V. 16. – P.182–187. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41561-022-01112-z>
2. **Wang W., Vidale J.E., Pang G., Koper K.D., Wang R.** Inner core backtracking by seismic waveform change reversals // *Nature.* – 2024. – V. 631. – P. 340–343. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07536-4>

БЕЛЬТИРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 15.02.2025 Г., ML=6.4, I=6 БАЛЛОВ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

**А.В. Фатеев, к.ф.-м.н., Е.А. Гладышев, А.А. Еманов, к.г.-м.н., А.Ф. Еманов, д.т.н.,
Е.В. Шевкунова, В.В. Арапов, П.О. Полянский, к.г.-м.н.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск**

Представлены сейсмологические данные по Бельтирскому землетрясению с $M_L=6.4$. Оно произошло 15 февраля 2025 г. в 01:48 UTC (08:48 местного времени) в районе очаговой области Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. с $M_S=7.3$ [1], где более 20 лет продолжается сейсмическая активность. В ходе наблюдения за афтершоковым процессом Чуйского землетрясения зафиксировано более 20 тысяч сейсмических событий. Положение очага Бельтирского землетрясения примыкает к юго-восточному обрамлению очаговой области Чуйского землетрясения, где землетрясений с такой энергией никогда не происходило. Эпицентр пространственно приурочен к южной границе Чаган-Узунского блока и расположен в одном километре от поселка Бельтир.

Бельтирское землетрясение вызвало ощутимые колебания во многих городах Западной Сибири: Горно-Алтайск, Барнаул, Бийск, Кемерово, Новосибирск и др., удаленных от очага на сотни километров. Интересен вопрос взаимосвязи Бельтирского землетрясения 2025 г. с Чуйским землетрясением 2003 года. Эпицентры этих землетрясений расположены близко друг к другу, что предполагает наличие связи в формировании их очаговых зон. Установлено, что сдвиговая деформация, сформировавшаяся при Чуйском землетрясении, сопровождается вытянутым вдоль нее прерывистым в пространстве афтершоковым процессом [2]. Одним из участков ослабления афтершоковой активности является район стыка Чаган-Узунского блока с Чуйской впадиной, что близко к очаговой области Бельтирского землетрясения 2025 года.

Бельтирское землетрясение 2025 г. по своей силе не сопоставимо с Чуйским землетрясением, но оно может интерпретироваться и как активизация смежных структур, продолжающаяся после Чуйского землетрясения [3, 4], и как сближенная по времени активизация сложной блоковой структуры [5].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25).

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. Чуйское землетрясение и его афтершоки // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 395, № 4. – С. 534–536.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Устойчивые структуры афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 87–101.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В. Об изменении сейсмического режима в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 1963–2016 гг. // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 41–45.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А. Эволюция сейсмичности Алтая после Чуйского землетрясения 2003 г. // Вулканология и сейсмология. – 2023. – № 5. – С. 26–40.
5. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Очаг сильного землетрясения как геологический объект // Геотектоника. – 2021. – № 3. – С. 3–30.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА ЛАВИННОЙ АКТИВНОСТИ В ХИБИНСКОМ ГОРНОМ МАССИВЕ

А.В. Федоров, к.ф.-м.н., И.С. Федоров, В.Э. Асминг, к.ф.-м.н., А.Ю. Моторин
КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты

С 2018 г. в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН проводятся работы по изучению низкочастотных акустических (инфразвуковых) сигналов, генерируемых сходом снежных лавин в Хибинском горном массиве. За последние 7 лет проведен ряд экспериментов по регистрации инфразвуковых сигналов от снежных лавин на различных дистанциях для лавин разного объема. Показана принципиальная возможность регистрировать лавины среднего размера (от 5 тыс. м³) на дистанции 5 км, а малые лавины (объемом от 0.5 тыс. м³) на удалении 2–3 км [1].

В 2020 г. в Хибинском горном массиве был создан первый стационарный комплекс геофизического мониторинга лавинной активности (код станции PABG). На собранных данным комплексом данных выработаны критерии для автоматизированной дискриминации сигналов, связанных с лавинной активностью, от сигналов иной природы. При этом задача достоверной автоматической классификации решена не была.

В 2024 г. в развитие работ по мониторингу и автоматизации процесса обнаружения сигналов лавинной активности в центральной части Хибинского массива был установлен второй стационарный комплекс лавинного мониторинга с кодом KLPR. Данный комплекс включает 3 низкочастотных микрофона и сейсмическую станцию. Применение синхронной регистрации сейсмических и инфразвуковых сигналов направлено на получение дополнительных данных для решения задач классификации.

В феврале 2025 г. на территории научной базы Географического факультета МГУ им. Ломоносова в Хибинах был создан третий комплекс мониторинга. Таким образом в Хибинах была сформирована сеть из трех геофизических комплексов лавинного мониторинга. Были проведены работы по модернизации программного обеспечения обнаружения и локации инфразвуковых сигналов [2]. В результате создана автоматизированная программно-аппаратная система инфразвукового мониторинга, способная не только обнаруживать сигналы, вызванные сходом снежных лавин, но и локализовать места лавинной активности в случае регистрации сигналов с общим источником по двум и более станциям.

Исследование выполнено за счет Российского научного фонда (грант № 24-27- 20007, <https://rscf.ru/project/24-27-20007>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Федоров А.В., Федоров И.С., Асминг В.Э., Моторин А.Ю.** Эксперименты по применению инфразвукового метода дистанционного мониторинга снежных лавин в Хибинах. Лед и Снег. – 2025. – 65 (1). – С. 81–92. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2076673425010064>
2. **Асминг В.Э., Федоров А.В.** Алгоритмы автоматического детектирования и локации инфразвуковых событий в системе PSDL // Russian Journal of Earth Sciences. – 2024. – Т. 24. – ES6002. – DOI: 10.2205/2024es000944. – EDN: ZVUUJP.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ $M=7.7$ 2025 Г. В МЬЯНМЕ ПО АМПЛИТУДНЫМ СПЕКТРАМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

^{1,2}А.С. Фомочкина, к.т.н., ^{1,3}А.И. Филиппова, к.ф.-м.н., ¹Ф.Э. Винберг
¹ИТПЗ РАН, г. Москва

²РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

³ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

В предложенной работе рассматривается землетрясение с $M_w=7.7$, которое произошло 28 марта 2025 г. в Мьянме. Для оценки очаговых параметров данного землетрясения использовались длиннопериодные записи поверхностных волн Лява и Рэлея, зарегистрированные на 20 сейсмических станциях в диапазоне эпицентральных расстояний 38.2° – 84.7° . Для однозначного определения механизма очага дополнительно привлекались данные о знаках первых вступлений P -волн [1] из ISC-бюллетеня.

В приближении мгновенного точечного источника [2] были оценены следующие параметры: скалярный сейсмический момент, фокальный механизм и глубина рассматриваемого события. В результате было получено, что очаг рассматриваемого землетрясения представляет собой правосторонний сдвиг по крутопадающей плоскости субмеридионального простирания и может быть связан с одним из крупнейших в мире сдвиговым разломом Сагаинг. Полученные результаты согласуются с данными мировых сейсмологических агентств (GCMT, GFZ, NEIC и др.).

При рассмотрении очага в приближении плоской эллиптической дислокации [3] были даны оценки следующих интегральных параметров: продолжительность процесса в очаге, длины большой и малой осей источника, скорость мгновенного центроида, угол между большой осью источника и осью простирания, угол между направлением движения мгновенного центроида и осью простирания. Полученные параметры дислокации протяженностью около 250 км и длительностью 66 с описывают основную фазу разрывообразования, охватившую северные сегменты разлома Сагаинг и характеризующуюся максимальными значениями смещений.

Также была построена билатеральная модель источника. Показано, что разрыв распространялся преимущественно в южном направлении, а скорость разрывообразования превысила скорость S -волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТПЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Tapponier P., Gaudemer Y., Mostinsky A., Dailu R.* Source parameters and tectonic origin of the 1996 June 1 Tianzhu ($M_w=5.2$) and 1995 July 21 Yongen ($M_w=5.6$) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China) // *Geophys. J. Int.* – 2001. – V. 144, No 1. – P. 206–220. – DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2001.00313.x>
2. *Букчин Б.Г.* Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // *Известия АН СССР. Серия Физика Земли.* – 1989. – № 9. – С. 34–41.
3. *Bukchin B.* Determination of stress glut moments of total degree 2 from teleseismic surface wave amplitude spectra // *Tectonophysics.* – 1995. – V. 248. – P. 185–191. – DOI: 10.1016/0040-1951(94)00271-A

МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ ПОДХОД НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ СЕТЕЙ

¹М.А. Хритова, к.т.н., ²А.Ф. Аношко, ²А.В. Жуков, ²А.И. Труфанов, к.ф.-м.н.

¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

²ИРНИТУ, г. Иркутск

В ключевых отечественных исследованиях [1, 2] проблемы дискриминации источников сейсмических событий (ИСС) вопрос о погрешности и практических деталях процесса распознавания, остается, как правило, «за кадром». Настоящая работа раскрывает методику распознавания региональных ИСС на основе подхода [3], предусматривающего сетевой анализ схожести волновых форм (ВФ), генерируемых различными ИСС. Предлагаемая методика основана на сопоставлении анализируемого события с набором мастер-заплов, представляющих примеры заранее распознанных волновых форм. В качестве базового алгоритма сравнения ВФ выбрана функция кросс-корреляции (ccf) и уточняющего алгоритма – функция динамической трансформации времени (dtw). Для отработки методики дискриминации сейсмических событий использовались ВФ землетрясений, промышленных взрывов и шумов, зарегистрированных сейсмостанцией «Орлик», БФ ФИЦ ЕГС РАН (120 записей сейсмических сигналов 2010–2020 гг.). В рамках предлагаемой методики детализирована и протестирована схема процесса дискриминации, включающая: подготовку мастер-заплов (MS), подготовку сета дискриминируемых ВФ, непосредственно пятиэтапную процедуру дискриминации. Подготовка MS предусматривает организацию: а) общего набора (GMS) парных заплвов волновых форм возможных источников событий: «землетрясения+взрывы», «землетрясения+шумы», «взрывы+шумы»; б) специального набора (TGS) парных данных, тщательно отобранных в пространстве «землетрясения+взрывы». Процедура дискриминации содержит: 1) отделение сигналов, представляющих шум с использованием набора мастер-заплов GMS, алгоритм ccf; 2) грубое распознавание ВФ взрывов с использованием набора GMS и алгоритма ccf; 3) дискриминация головной части ВФ, опирающаяся на TGS, ccf; 4) дискриминация срединной части ВФ, опирающаяся на TGS, ccf; 5) дискриминация хвостовой части ВФ, опирающаяся на TGS с использованием алгоритма dtw. При реализации предлагаемой схемы погрешность распознавания не превысила 2 % для региональных сейсмических событий с энергетическим классом $7.5 \leq K_p \leq 9$ и эпицентрными расстояниями 200–250 км. Время дискриминации одного события составляет не более 3.5 мин при использовании одноядерного процессора с частотой 3.10 GHz.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

ЛИТЕРАТУРА

1. Асминг В.Э., Асминг С.В., Федоров А.В., Евтюгина З.А., Чигирев Е.Н., Кременецкая Е.О. Система автоматического распознавания типов источников региональных сейсмических событий // Сейсмические приборы. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 39–56. – doi: org:10.21455/si2022.2-2 – EDN: ACTKMM
2. Добрынина А.А., Герман В.И., Саньков В.А. Распознавание промышленных взрывов и слабых природных землетрясений // Уголь. – 2022. № S12(1162). – С. 23–29. – DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-23-29 – EDN: TULQY
3. Аношко А.Ф., Берестнева О.Г., Джафари Г.М., Жуков А.В., Труфанов А.И., Хритова М.А. Использование комплексных сетей в распознавании типов источников региональных сейсмических событий // Сейсмические приборы. – 2024. – Т. 60. № 4. – С. 26–43. – DOI: 10.21455/si2024.4-2 – EDN: ONPPBX

ЭТАПЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ (РОССИЯ) В 2022-2024 ГОДАХ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**А.С. Чемарёв, А.А. Шакирова, к.г.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский**

10 апреля 2023 г. произошло сильнейшее за последние 60 лет извержение вулкана Молодой Шивелуч (Россия, п-ов Камчатка) и последующая за ним активизация в районе старого экструзивного купола Каран, активного ранее в голоцене [1]. Вулканическая активность сопровождалась высокой сейсмической активностью [3], регистрировалось множество длиннопериодных, гибридных и вулканогенных землетрясений. По волновым формам с сейсмической станции, установленной в районе вулкана Шивелуч, на основе взаимной корреляции сигналов, выделены семейства землетрясений, связанные как с выжиманием экструзивного купола в кратере Молодого Шивелуча [4], так и с активизацией в районе купола Каран.

Первые семейства землетрясений в районе купола Каран предваряли появление фумарол. Землетрясения в этих семействах относятся к гибридным [2] и связаны с образованием трещин и заполнением их газовой составляющей. Последующие семейства выделены как на глубинах 20–25 км, так и в более поверхностном слое и выше уровня моря, что говорит о процессах, которые происходят в районе магматического очага, а также сопровождают выжимание нового экструзивного купола и предшествуют его извержению.

Анализ выделенных семейств продолжается в настоящее время, но уже можно выделить важную особенность – семейства землетрясений на глубинах 20–25 км представлены не только вулканогенными землетрясениями, типичными для таких глубин, связанными с хрупким разрушением, но и длиннопериодными землетрясениями, связанными с газовой фазой. Эти семейства, очевидно, связаны с появлением нового экструзивного купола Каран на поверхности и эксплозивными извержениями Карана в августе – ноябре 2024 года.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) с использованием данных с УНУ (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбач Н.В., Портнягин М.В. Геологическое строение и петрология лавового комплекса вулкана Молодой Шивелуч (Камчатка) // Петрология. – 2011. – Т. 19, №2. – С. 140–172.
2. Гордеев Е.И., Сеньюков С.Л. Сейсмическая активизация вулкана Корякский в 1994 г.: гибридные сейсмические события и их применение для оценки вулканической опасности // Вулканология и сейсмология. – 1998. – № 4–5. – С. 112–126.
3. Сеньюков С.Л., Нуждина И.Н., Чебров Д.В. Вулканы Камчатки // Землетрясения России в 2023 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2025. – С. 118–127.
4. Шакирова А.А., Чемарёв А.С. Семейства длиннопериодных землетрясений на вулкане Молодой Шивелуч (Россия) в 2022–2023 годах // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. – 2024. – № 3 (63). – С. 62–73. – DOI: <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2024-3-63-62-73>

РЕАКЦИЯ 12 ЭТАЖА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ В Г. ИРКУТСКЕ НА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

**В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н.
БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск**

Несмотря на появление современных вычислительных комплексов для расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость, только натурные измерения дают объективную информацию о надежности зданий при землетрясениях [1].

Основной целью данной работы является сопоставление параметров колебаний на 12 -этаже высотного здания и грунтов на сейсмостанции «Иркутск» при землетрясениях. Для этого в одной из квартир был установлен комплект аппаратуры «Trillium Compact 120s + Nanometrix Centaur», регистрирующий землетрясения в динамическом диапазоне до 6 баллов, который проработал с 25.08.2022 г. по 03.04.2023 года. За это время было зарегистрировано несколько десятков землетрясений. Для анализа были отобраны 12 ощутимых землетрясений, интенсивность которых по макросейсмическим данным на территории г. Иркутска составляла от 2 до 5 баллов. Эпицентры очагов землетрясений были расположены в акватории Южного Байкала, Тункинской впадины и района оз. Хубсугул на расстоянии от 73 до 324 км.

Отношения пиковых амплитуд на 12-этаже здания к пиковым амплитудам на сейсмостанции «Иркутск» находятся в интервале: в поперечном направлении от 0.6 до 2.8 для ускорений, от 0.6 до 2.6 для скоростей, от 1.0 до 4.7 для смещений. Средние значения, соответственно, 1.3, 1.5, 2.2. В продольном направлении: от 0.5 до 5.1 для ускорений, от 1.0 до 6.6 для скоростей, от 1.0 до 5.3 для смещений. Средние значения, соответственно, 1.9, 2.4, 2.7. Интенсивность сейсмических воздействий на здание зависит от соотношения особенностей спектра сейсмических колебаний грунта и динамических характеристик здания, а также от условий опирания здания на грунт [2]. При совпадении вынужденных и собственных колебаний наступает явление резонанса. Ярким примером возникновения резонанса является разрушение зданий в Мехико при землетрясении 1985 года. Наибольшее усиление колебаний на здании в нашем случае отмечено в продольном направлении при землетрясении с Тункинской долины, когда видимый период колебаний был близок к значению резонансного периода по 1 форме.

Определены динамические характеристики здания и проведено сравнение с характеристиками типовых зданий 1970–1980 гг. постройки. Получены амплитудно-частотные характеристики (переходная функция) 12 этажа в поперечном и продольном направлениях, что позволяет сделать прогноз колебаний здания при сильных землетрясениях из наиболее опасных для г. Иркутска зон ВОЗ.

Исследования выполнены с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu>)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бержинский Ю.А., Бержинская Л.П., Иванькина Л.И. и др.* Оценка сейсмической надежности жилых и общественных зданий при землетрясении 27.08.2008 г. на Южном Байкале // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2009. – Т. 36, № 1. – С. 23–39. – EDN KWCDFR
2. *Медведев С.В.* Инженерная сейсмология /Акад. наук СССР. Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. – Москва: Госстройиздат, 1962. – 284.с.

РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ВАРИАЦИЙ УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА ПО ШКАЛЕ СОУС'09 (2003–2024 ГГ.)

А.А. Шакирова, к.г.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

С 2003 по 2024 г. вулкан Ключевской извергался практически ежегодно. Все его извержения предваряются высокой сейсмической активностью. К сейсмичности Ключевского вулкана применена методика СОУС'09: шкала, привязанная к статистической функции распределения сейсмической энергии, характеризующая уровень сейсмичности заданного пространственного объекта в определенный временной интервал [1]. Ранее методика СОУС'09 была применена к сейсмическим активизациям вулкана Безымянный [2] и показала свою результативность в режиме реального времени: выявлена подготовка всех извержений вулкана Безымянный в 2015–2020 гг.

Проведена систематизация данных об извержениях Ключевского вулкана, начиная с 2003 года. Активность Ключевского вулкана оценивалась по базе данных «Активность вулканов Камчатки» (<https://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>), которая заполняется в оперативном режиме в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН.

Проанализирована динамика сейсмичности в пяти наиболее сейсмоактивных объемах среды под Ключевским вулканом: поверхностном (глубина 4–2 км), близповерхностном (глубина 4–8 км), слое пониженной сейсмичности (9–17 км), промежуточном в коромантийном слое (20–25 км) и глубоком (26–34 км) [3]. Появление лавы в кратере вулкана предварялось статистически значимым повышением сейсмической активности перед десятью из одиннадцати вершинных извержений на глубинах от 4 до 34 км и перед тремя активизациями. Отмечен выход уровня сейсмичности на высокий и экстремально высокий за 482–6 дней до появления лавы в кратере вулкана. Для двух сильнейших извержений 2013 г. и 2023 г. отмечен выход уровня сейсмичности на экстремально высокий на глубинах 9–17, 20–25 и 26–34 км в момент кульминационной фазы извержения, что может свидетельствовать в пользу ближайшего окончания извержения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20019 (<https://rscf.ru/project/24-17-20019/>) и при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) с использованием данных, полученных на УНУ (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Салтыков В.А.** Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
2. **Салтыков В.А.** Прогнозирование извержений вулкана Безымянный (Камчатка) 2015–2020 гг.: результаты использования методики на основе СОУС'09, верификация параметров // Вулканология и сейсмология. – 2022. – № 6. – С. 76–86. – DOI: 10.31857/S0203030622060074
3. **Saltykov V.A., Shakirova A.A.** Estimation of Klyuchevskoy Volcano Activity in 2023 based on the SESL'09 technique // E3S Web of Conferences. – 2024. – V. 592. – P. 1–6. – DOI: 10.1051/e3sconf/202459205007

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КРУПНЫХ ОБРУШЕНИЙ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Д.Ю. Шулаков, к.т.н., А.С. Мурыськин
ГИ УрО РАН, г. Пермь

Особенностью Жезказганского месторождения является то, что оно находится на поздней стадии эксплуатации и основные запасы руды уже отработаны. Поскольку рудные тела представляют собой пологопадающие пласты, отработка ведется камерно-столбовой системой с оставлением межкамерных и междупанельных целиков. В настоящее время большая их часть находится в разной степени разрушенности, кроме того, на месторождении ведется повторная разработка, заключающаяся в частичном извлечении несущих целиков. Это создает угрозу одномоментных массовых обрушений подработанного массива на больших площадях [1].

Действующая на территории месторождения свыше 20 лет система сейсмологического мониторинга дает большой объем информации о процессах разрушения в породном массиве на территории всех рудников. С целью решения задачи прогноза массовых обрушений был выполнен ретроспективный анализ четырех хорошо документированных случаев в разных частях месторождения. Было проанализировано большое количество пространственных, энергетических и фрактальных показателей, характеризующих сейсмическую активность (всего 14 шт.). Установлено, что ни в одном из них на среднесрочном интервале не удастся обнаружить аномалии, связанные с формирующимся обрушением. Это связано с недостаточной чувствительностью сейсмической сети. При этом выявлено существенное возрастание сейсмической активности на интервале от нескольких часов до первых десятков дней перед обрушением – т.е. установлена принципиальная возможность выполнения краткосрочного прогноза по сейсмическим данным.

В связи с относительной быстротечностью происходящих процессов, наиболее рациональным для краткосрочного прогноза представляется использование простых количественных критериев сейсмической активности – плотности выделения сейсмической энергии E_s , средней энергии событий $E_{ср}$ и количества событий N . Для решения данной задачи было решено использовать балльно-рейтинговую систему, при которой вся контролируемая территория делится на 3 категории по уровню сейсмической активности: фоновый уровень, повышенный и высокий. Расчет рейтинговой функции производится в скользящем пространственном окне, итоговый рейтинг вычисляется по формуле:

$$R=(R1+R2)*R3,$$

где $R1$, $R2$ и $R3$ – частные рейтинги, зависящие от E_s , $E_{ср}$ и N соответственно. $R1$ и $R2$ могут принимать значение от 0 до 2, $R3$ является «триггерным» параметром и может быть равен 0 или 1.

После ретроспективной калибровки было установлено, что использование рейтинговой функции позволило успешно спрогнозировать 5 из 6 массовых обрушений, причем «повышенного» уровня функция достигает за $7 \div 24$ сут. до обрушения, а «высокого» – за $1 \div 3$ сут. Это позволяет исключить нахождение людей в опасной зоне и минимизировать возможный материальный ущерб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко В. И., О. В. Зотеев, А. Б. Макаров. Геомеханические проблемы дальнейшей разработки Жезказганского меднорудного месторождения // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 60–63. – EDN: OPDDZJ2.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЧИЛИЙСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ В НАЧАЛЕ XXI В. НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

¹Н.С. Щевьёва,^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н.,^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н.

¹ИО РАН, г. Москва

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Работа посвящена изучению особенностей сейсмической активизации Чилийской зоны субдукции в начале XXI столетия на базе совместного анализа спутниковых геодезических, сейсмологических и геологических данных. В частности, на основе многолетних спутниковых геодезических измерений на территории Чили и Аргентины проведено исследование пространственно-временных вариаций сеймотектонических деформаций, связанных с возникновением серии из трех сильнейших землетрясений с $M > 8$: Мауле 27 февраля 2010 г. ($M_w=8.8$), Икике 1 апреля 2014 г. ($M_w=8.1$) и Ильяпель 16 сентября 2015 г. ($M_w=8.3$).

С целью выявления особенностей высвобождения накопленных напряжений во время исследуемых землетрясений было проведено моделирование распределенной сейсмической подвижки в их очагах. Моделирование поверхности сейморазрыва осуществлялось двумя способами: для однородного упругого изотропного полупространства [1] и для слоистого упругого сферически-симметричного пространства [2]. В работе проведен сравнительный анализ этих подходов и показано, что точность восстановления сейсмической подвижки в очаге землетрясения напрямую зависит от выбранной модели Земли.

Кроме того, по данным непрерывных ГНСС-измерений методом Шена [3] были рассчитаны поля скорости плоской деформации до и после исследуемых землетрясений, что позволило выявить общие для всех событий закономерности: 1) в период, предшествующий землетрясению, вблизи его очага наблюдается рост скорости деформации; 2) очаги землетрясений формируются вблизи области выраженных градиентов полей величин, отражающих деформации земной поверхности; 3) в период, следующий за землетрясением, наблюдается уменьшение скоростей деформации в ближайшей окрестности его очага, что отражает постепенную релаксацию накопленных напряжений.

И наконец, было изучено влияние крупных геологических структур и региональных разломов на процессы накопления и высвобождения напряжений в Чилийской зоне субдукции. Показано, что структурные неоднородности геосреды различного генеза оказывают непосредственное влияние на течение сейсмических циклов сильнейших субдукционных землетрясений.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-27-00176.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Okada Y.** Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 1985. – V. 75. – N. 4. – P. 1135–1154. – DOI: 10.1785/BSSA0750041135
2. **Pollitz F.F.** Coseismic deformation from earthquake faulting on a layered spherical Earth // Geophys. J. Int. – 1996. – Vol. 125. – P. 1–14. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.1996.tb06530.x
3. **Shen Z.-K., Jackson D.D., Ge B.X.** Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements // J. Geophys. Res. – 1996. – Vol. 101. – N. B12. – P. 27957–27980. – DOI: 10.1029/96JB02544

НОВЫЕ ПРИБОРЫ ВНИИА ДЛЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.Ю. Эльтеков, О.А. Герасимчук, к.т.н., Г.С. Засимов к.т.н.
ФГУП «ВНИИА», г. Москва

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ВНИИА) проводит работы в области разработки аппаратуры для сейсмологических наблюдений более 50 лет. В 80–90-е г. серия сейсμοприёмников (СП) объединенных со скважинными цифровыми регистраторами «Парус-2» изготовлена и установлена на сейсмических станциях национальной системы мониторинга СССР для многолетней эксплуатации. Цифровые трёхкомпонентные скважинные приборы «Парус-2» были тестированы в «тихих» местах: Боровое (Казахстан) и Альбукерке (США). В последующие десятилетия продолжались усилия по разработке СП с учетом требований к сейсмическим станциям Международной системы мониторинга по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

Последние разработки ВНИИА в части аппаратуры сейсмологического мониторинга представлены линейкой высокочувствительных СП [1]:

- SVS-B – вертикальный короткопериодный СП для установки в скважины внутренним диаметром от 145 до 178 мм;

- STB-P – трёхкомпонентный широкополосный СП для установки на постаментах;

- STB-B – трёхкомпонентный широкополосный СП для установки в скважины внутренним диаметром от 145 до 178 мм,

а также 24-разрядным регистратором геофизическим DGD, сопряженным с СП SVS-B, STB-P и STB-B и обеспечивающим аналого-цифровое преобразование сигналов СП с привязкой к шкале единого времени, калибровку амплитудно-частотных характеристик и управление механизмами СП.

Коэффициенты преобразования составляют 2 или 20 В/(мм/с). Диапазон рабочих частот по уровню -3 дБ составляет 0.5–100 Гц для SVS-B, и 0.02–50 Гц для STB-P и STB-B. Уровень собственного шума всех типов СП в диапазонах рабочих частот в любой полуоктавной полосе частот более чем на 10 дБ ниже современной модели минимального сейсмического фона, динамический диапазон не менее 130 дБ, нелинейность амплитудной характеристики не более 0.01 %.

При сотрудничестве с институтами Российской академии наук СП SVS-B, СП STB-P и СП STB-B протестированы на вибростендах и на постаменте в штольне «Обнинск» [2]. Результаты тестирования подтверждают соответствие СП современным требованиям к аппаратуре станций сейсмологического мониторинга.

Работа выполнена при поддержке Госкорпорации «Росатом».

ЛИТЕРАТУРА

1. Башилов И.П., Герасимчук О.А., Слепцов В.И., Эльтеков А.Ю. Короткопериодный вертикальный сейсμοприемник с комплектом оборудования для скважинных наблюдений // Сейсмические приборы. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 57–74 DOI: 10.31D3/S07479239220050048. – EDN: KWGRGO
2. Эльтеков А.Ю., Герасимчук О.А., Уткин П.М., Виноградов Ю.А. Исследования и измерения характеристик высокочувствительных сейсμοприемников на экспериментальной базе «Обнинск» // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 2. – С. 52–69. – DOI: 10.35540/2686-7907.2024.2.04. – EDN: RMYBBU

DIGITIZATION OF HISTORIC SEISMOGRAM ARCHIVES

¹K.G. Mackey, ¹D.R. Burk, ²R.A. Dyagilev

¹Michigan State University, East Lansing, USA

²GS RAS, Obninsk, Russia

The Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS) and Michigan State University (MSU) are recovering, scanning and digitizing the historic analog seismograms from the USSR seismic stations. Many specific seismological data sets are important to preserve for research and future generations because they cannot be replaced. One such data set is the seismograms of the Soviet Peaceful Nuclear Explosions (PNEs), while other important data includes large and devastating earthquakes. Our current study focuses on the PNEs. The Soviet Union detonated 122 PNEs from the mid-1960s through the late 1980s. The PNEs were conducted in a wide range of geologic settings and geographic locations, thus representing a unique data set for geophysical studies. These explosions were well recorded by the regional seismic networks, where thousands of seismograms are retained in archives.

In the digitization process, we scan each seismogram in high resolution on a wide format scanner and save the image in BMP format. BMP format is 'loss-less', meaning that there is no smoothing or loss of resolution due to compression, such as what would occur when saving as a JPG file. Although this results in large files, preservation of image details and shading are of critical importance.

The initial digitization of the seismograms uses a software package called Wavetrack [1]. Wavetrack was developed to digitize well logs but has been adapted to digitize seismograms. MSU further developed several post-processing routines to improve the resulting seismograms, apply system responses and output the time-series waveforms in miniseed format. The process is manual, but we accurately recover high quality waveforms from short period records. We fit the final digitized waveform files with a Piecewise Cubic Hermite Interpolation Polynomial (PCHIP) [2], which we found best to emulate the character and frequency content of the original seismograms. The seismograms are rendered at 100 sps in the digital waveform files.

Along with the seismograms, we are recovering the original station calibrations, responses and metadata for each station. We developed code that uses the station responses to generate Dataless SEED and XML files for use with the digitized data. The station response files allow the instrument response to be removed from the seismogram and display the waveform in units of ground motion. The resulting digital waveforms are of high quality, and they are usable for quantitative research.

This joint cooperative project has digitized approximately 2500 seismogram components from the archives of the GS RAS. The digitized waveforms will be open and accessible in a global data repository.

REFERENCES

1. *Wavetrack (n.d.). Digitization software.* Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, Russia.
2. *Fritsch F.N., Carlson R.E.* Monotone Piecewise Cubic Interpolation. SIAM Journal on Numerical Analysis. – 1980. – T. 17. – №. 2. – P. 238-246.

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАЙОНА ВУЛКАНА ТОЛБАЧИК (КАМЧАТКА) НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ СОУС'09

В.А. Салтыков, д. ф.-м. н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Разработанная в КФ ФИЦ ЕГС РАН методика «СОУС'09» (*Статистическая Оценка Уровня Сейсмичности*) [1] позволяет в качественных терминах определить уровень сейсмичности в заданной пространственно-временной области, основываясь на количественном параметре – значении функции распределения сейсмической энергии. Используемая шкала оценки уровня сейсмичности включает в себя пять основных градаций и три дополнительных.

Формализация данной процедуры позволяет избежать ряда неоднозначностей при описании, оценке и сравнении сейсмического режима различных пространственно-временных объемов.

Как правило, для мониторинга конкретного объекта (например, вулкан, разлом и т.п.) в интересах Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений приемлемым является анализ временного хода уровня сейсмичности в зафиксированной пространственной области, который визуализируется единственной СОУСграммой. В частности, именно так работает внедренная в практику методика прогноза извержений вулкана Безымянный [2].

Однако существуют ситуации, когда такой подход не дает желательного представления. Это происходит в случаях значительной миграции областей сейсмической активизации, возникновения новых сейсмических объектов, а также при пространственном перекрытии выделенных ранее объектов.

Для района вулкана Толбачик характерны все три упомянутых, осложняющих анализ ситуаций: 1) для Толбачинского дола характерны проявления моногенного вулканизма, когда активизируются «молчавшие» ранее структуры, 2) в долине р. Толуд отмечаются эффекты типа миграции сейсмичности; 3) достаточно близкое расположение вулканов Толбачик, Удина, Зимины не всегда позволяют корректно соотнести отмечаемые сейсмические аномалии.

В этом случае представляется целесообразным использование СОУСкарт. Однако, это с неизбежностью приводит к неприемлемому объему информации на выходе, что требует разработки новых подходов к визуализации результатов.

В докладе рассмотрены методические аспекты компактного представления результатов анализа сейсмичности по методике СОУС'09, а также непосредственно сами результаты, позволяющие сделать вывод о текущей сейсмической активизации вулкана Плоский Толбачик.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20019 (<https://rscf.ru/project/24-17-20019/>) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК и КНСМ РФ (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – №2. – С. 53–59.
2. Салтыков В.А. Прогнозирование извержений вулкана Безымянный (Камчатка) 2015–2020 гг.: результаты использования методики на основе СОУС'09, верификация параметров // Вулканология и сейсмология. – 2022. – № 6. – С. 76–86.

ОПЫТ РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМ АКУСТИЧЕСКИМ ЗОНДИРОВАНИЕМ

¹А.А. Шакирова, к.г.-м.н., ²И.С. Ладыгин, ¹Д.В. Чебров, к.ф.-м.н., ²А.Р. Сагирова

¹ КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

²Отдел оптической сенсорики ПИШ (ООСПИШ), г. Новосибирск

В последнее время для решения задач сейсмологии все более популярным становится распределенное акустическое зондирование (DAS – *Distributed Acoustic Sensing*) [1]. Этот метод использует оптоэлектронный прибор с чувствительным элементом – оптоволоконным кабелем длиной до нескольких десятков километров для измерения деформации волокна, эффективно преобразовывая его в сейсмический массив. В основе работы системы лежит принцип когерентной рефлектометрии.

В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН проведен первый этап эксперимента по использованию технологии DAS на Камчатке. Задачей эксперимента была проверка принципиальной возможности использования технологии DAS для задач мониторинга землетрясений Камчатской сейсмофокальной зоны и регистрации сейсмических воздействий на здания и сооружения.

Амплитудный оптоволоконный виброакустический датчик предоставлен Передовой инженерной школой Новосибирского Государственного Университета. В испытаниях использован одномодовый кабель длиной 200 м со спиралевидным закручиванием. Оптоволоконный кабель был растянут в подвальном помещении здания Института вулканологии и сейсмологии г. Петропавловск-Камчатский в несколько проходов и прочно прикреплен к фундаменту помещения для обеспечения связи с конструкцией здания.

В ходе анализа установлено, что землетрясения отчетливо регистрируются оптоволоконной системой. Волновая форма, записанная DAS, соотносится с каналом скорости записи землетрясения. Запись DAS имеет «канонические» признаки сейсмограммы и похожую огибающую сигнала: для всех землетрясений можно наблюдать хорошее, отчетливое вступление Р-волн; идентифицируются вступления группы S-волны; совпадает положение максимума колебаний; наблюдается плавно затухающая сейсмическая coda. Запись DAS по форме спектра лучше соответствует вертикальному каналу сейсмической станции на частотах до 2–3 Гц. Дальнейший спектральный анализ записей DAS может позволить выводить величины событий аналогично сейсмометрам даже при невозможности калибровки абсолютной реакции кабеля на движение грунта из-за неизвестных параметров связи волокна с грунтом.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) с использованием данных с УНУ (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Fernández-Ruiz M.R., Soto M.A., Williams E.F., Martín-Lopez S., Zhan Z., Gonzalez-Herraez M., Martins H.F.* Distributed acoustic sensing for seismic activity monitoring // *Apl Photonics*. – 2020. – V. 5 (3). P. 1–17. <https://doi.org/10.1063/1.5139602>

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ НАЗВАНИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ

Краткое название организации	Полное название организации	Город
<i>Зарубежные организации</i>		
ГС НАНТ	Геофизическая служба Национальной академии наук Таджикистана	г. Душанбе Республика Таджикистан
ИГИ НЯЦ РК	Институт геофизических исследований (ИГИ) Национального ядерного центра Республики Казахстан	
ИГИС НАН РА	Институт геофизики и инженерной сейсмологии имени А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения	г. Ереван, г. Гюмри, Республика Армения
ННЦСНИ МЧС РК	Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан	
ЦГМ НАН Беларуси	Государственное учреждение «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси»	г. Минск, Республика Беларусь
<i>Российские организации</i>		
ФИЦ ЕГС РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Обнинск
АСФ ФИЦ ЕГС РАН	Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск
БФ ФИЦ ЕГС РАН	Байкальский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Иркутск
БуФ ФИЦ ЕГС РАН	Бурятский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Улан-Удэ
ДФ ФИЦ ЕГС РАН	Дагестанский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Махачкала
КФ ФИЦ ЕГС РАН	Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Петропавловск-Камчатский
КоФ ФИЦ ЕГС РАН	Кольский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Апатиты
МФ ФИЦ ЕГС РАН	Магаданский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Магадан

Краткое название организации	Полное название организации	Город
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН	Сейсмологический филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск
СФ ФИЦ ЕГС РАН	Сахалинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Южно-Сахалинск
СОФ ФИЦ ЕГС РАН	Северо-Осетинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Владикавказ
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН	Якутский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Якутск
АН РС(Я)	Государственное учреждение «Академия наук Республики Саха (Якутия)»	г. Якутск
АО ОЭС	Акционерное общество «Институт Оргэнерго-строй»	г. Москва
«ГИ УрО РАН»	«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук	г. Пермь
ГИН СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук	г. Улан-Удэ
ГО «Борок» ИФЗ РАН	Геофизическая обсерватория «Борок» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук	пос. Борок, Ярославская обл.
ГЦ ГМ	Главный центр геофизического мониторинга	г. Москва
ИГАБМ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук	г. Якутск
ИГМ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИГЭ РАН	Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН	г. Москва
ИДГ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук	г. Москва
ИЗК СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук	г. Иркутск
ИЗМИРАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук	г. Москва, г. Троицк

Краткое название организации	Полное название организации	Город
ИНГГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук	г. Москва
ИСГ КФУ им. В.И. Вернадского	Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского	г. Симферополь
ИТПЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук	г. Москва
ИФЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук	г. Москва
Кировский филиал АО «Апатит»	Кировский филиал акционерного общества «Апатит» группы «ФосАгро»	г. Кировск
МГУ	Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»	г. Москва
ОИЯИ	Объединенный институт ядерных исследований	г. Дубна
ОФИЦ УрО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук	г. Оренбург
РГУ нефти и газа (НИУ) имени Губкина И.М.	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени Губкина И.М.»	г. Москва
СВКНИИ ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Магадан
СВФУ	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»	г. Якутск
СПбГУ	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»	г. Санкт-Петербург
СПбФ ИЗМИРАН	Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук	г. Санкт-Петербург
ТИ (ф) СВФУ	Технический институт (филиал) федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри	г. Нерюнгри

Краткое название организации	Полное название организации	Город
ФБУ «НТЦ ЯРБ»	Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»	г. Москва
ФГБОУ ВО «ВГУ»	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»	г. Воронеж
ФГБОУ ВО «СВГУ»	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный государственный университет»	г. Магадан
ФГБОУ ВО «ТОГУ»	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет»	г. Хабаровск
ФГБУ «ВНИГНИ»	Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»	г. Москва
ФГБУН «КрАО РАН»	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»	г. Ялта
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук	г. Архангельск

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аветисян Андрей Мергевосович

док. физ.-мат. наук, проф., вед. науч. сотр.
ИГИС им. А. Назарова НАН РА
сов. директора, преподаватель
ГФ АГЭУ,
г. Гюмри
avet.andrey@mail.ru

Агафонов Вадим Михайлович

канд. физ.-мат. наук, ген. директор
ООО «Р-сенсорс»
г. Долгопрудный
r-sensors@mail.ru

Адилов Зарахман Ашуралиевич

зав. отделом
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
adilov79@mail.ru

Акматов Дастан Женишбекович

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Геофизический центр РАН,
г. Москва
d.akmatov@gcras.ru

Алёшин Игорь Михайлович

канд. физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.,
зав. лаб. ИФЗ РАН,
г. Москва
ima@ifz.ru

Антонов Александр Николаевич

инженер
МФТИ, Физтех,
г. Долгопрудный
antonov.mipt@gmail.com

Антоновская Галина Николаевна

д-р техн. наук, зам. директора,
вед. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
essm.ras@gmail.com

Аптикаев Сергей Феликсович

канд. физ.-мат. наук,
главный специалист
АО «Атомэнергопроект»
г. Москва
Artikaev_SF@aer.ru

Аптикаева Ольга Ивановна

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
aptikaevaoi@mail.ru

Арапов Виктор Владимирович

мл. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
arapov@gs.sbras.ru

Аристова Ирина Львовна

ст. науч. сотр.
ИГИ НЯЦ РК,
г. Курчатов, Казахстан
i.aristova@kndc.kz

Аронов Аркадий Гесселевич

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
aronov@cgm.by

Аронов Геннадий Аркадьевич

директор
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
aronovg@tut.by

Артемова Анна Игоревна

науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН
г. Новосибирск
artemova@gs.nsc.ru

Арутюнян Левон Вартанович

канд. геол. наук, зав. лаб.
ИОНХ НАН РА,
г. Ереван, Армения
levonharutyunyan35@mail.ru

Асманов Осман Абдуллаевич

к.г.-м.н., науч. редактор
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала
asekovaz@bk.ru

Асминг Владимир Эрнестович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
asmingve@mail.ru

Атрохин Владимир Владимирович

нач. отдела
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
OTON@memsd.ru

Ахмедова Мадина Магомедовна

инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
sstmak@rambler.ru

Багаева Софья Сергеевна

нач. сектора
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
sonybag@yandex.ru

Баранов Сергей Владимирович

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
basr.vl@gmail.com

Батыров Тамерлан Батырович

науч. сотр.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
tbatirov@gmail.com

Бах Александр Александрович

ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
Abakh61@mail.ru

Бахтин Михаил Андреевич

инженер
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
vbif12000@mail.ru

Белов Владимир Сергеевич

науч. сотр. отдела геоэкологии
ОФИЦ УрО РАН,
г. Оренбург
n_mu@mail.ru

Бондарь Марина Николаевна

зам. директора Института сейсмологии
и геодинамики,
ИСГ КФУ им. В.И. Вернадского
г. Симферополь
mara782@mail.ru

Бурмин Валерий Юрьевич

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
burmin@ifz.ru

Бутырин Павел Генрихович

канд. техн. наук, ст. науч. сотр., зав. отд.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
pbg2000@mail.ru

Быкова Вера Вячеславовна

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
vvb@ifz.ru

Ваганова Наталья Владиславовна

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
nvag@yandex.ru

Верхоланцев Александр Викторович

и.о. науч. сотр.
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
vercholancev@gmail.com

Верхоланцев Филипп Геннадьевич

науч. сотр., зав. сектором
ФИЦ ЕГС РАН;
мл. науч. сотр.
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
sombra@mail.ru

Винберг Федор Эрнестович

лаборант-исследователь
ИТПЗ РАН,
г. Москва

Виноградов Юрий Анатольевич

д-р техн. наук, директор
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
yvin@gsras.ru

Владимирова Ирина Сергеевна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИО РАН, г. Москва;
вед. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
vladis@gsras.ru

Вольфман Юрий Михайлович

д-р геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.,
директор Института сейсмологии
и геодинамики,
ИСГ КФУ им. В.И. Вернадского
г. Симферополь
seism.volf@gmail.com

Габсатаров Юрий Владимирович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИО РАН,
г. Москва;
вед. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
yuryg@gsras.ru

Габсатарова Ирина Петровна

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
ira@gsras.ru

Гавриленко Юлия Анатольевна

инженер-исследователь
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
y.gavrilenko@memsd.ru

Гайдай Наталия Константиновна
канд. геол.-мин. наук, директор
Политехнического института
ФГБОУ ВО «СВГУ»;
ст. науч. сотр.
СВКНИИ ДВО РАН,
г. Магадан
nataly_mag@rambler.ru

Галеева Эльвира Рафисовна
аспирант, отдел геоэкологии
ОФИЦ УрО РАН,
г. Оренбург
n_mu@mail.ru

Галушкин Игорь Викторович
канд. геол.-мин. наук, руководитель
АО ОЭС
ЦФО «Инженерные изыскания»
Москва,
ig_geo@mail.ru

Гвишиани Алексей Джерменович
академик РАН, науч. руководитель
Геофизический центр РАН,
г. Москва
a.gvishiani@gcras.ru

Герасимчук Олег Анатольевич
канд. техн. наук, зам. гл. конструктора
ФГУП «ВНИИА»
г. Москва
oleg.gerasimchuk@bk.ru

Гилёва Надежда Алексеевна
нач. отдела
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
nagileva@crust.irk.ru

Глаголев Владимир Викторович
д-р физ.-мат. наук, нач. отдела
ОИЯИ,
г. Дубна
vlglagolev@jinr.ru

Гладышев Егор Андреевич
науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
gladyshev@gs.nsc.ru

Горбунова Элла Михайловна
д-р геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ИДГ РАН
г. Москва
gorbunova.em@idg.ras.ru

Горожанцев Сергей Владимирович
канд. геол.-мин. наук, науч. редактор
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
sgor@gsras.ru

Гриб Галина Владиславовна
канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ТИ (ф) СВФУ,
г. Нерюнгри
n-grib@list.ru

Гриб Николай Николаевич
д-р техн. наук, профессор
ТИ (ф) СВФУ,
г. Нерюнгри;
вед. науч. сотр.
ФГБОУ ВО «ТОГУ»,
г. Хабаровск
grib-n-n@yandex.ru

Громыко Павел Владимирович
науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
gromykov@mail.ru

Гульельми Анатолий Владимирович
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
guglielmi@mail.ru

Дзедобоев Борис Аркадьевич
д-р. физ.-мат. наук,
зам. директора по науке, зав. лаб.
Геофизический центр РАН,
г. Москва
b.dzeboev@gcras.ru

Дзеранов Борис Виталиевич
канд. геол.-мин. наук., зав. лабораторией
Геофизический центр РАН,
г. Москва
b.dzeranov@gcras.ru

Дмитриева Изольда Юрьевна
нач. сектора
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
iza_ka@mail.ru

Дягилев Руслан Андреевич
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.,
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
dra@gsras.ru

Елагин Семен Александрович
науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
Maelstrom2006@gmail.com

Еманов Александр Федорович
д-р техн. наук, гл. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
Emanov@gs.nsc.ru

Еманов Алексей Александрович

канд. геол.-мин. наук, директор
АСФ ФИЦ ЕГС РАН;
ст. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
alex@gs.nsc.ru

Ефременко Марина Алексеевна

канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
2880@mail.ru

Завьялов Алексей Дмитриевич

д-р физ.-мат. наук,
гл. науч. сотр., зав. лаб.
ИФЗ РАН, г. Москва
zavyalov@ifz.ru

Засимов Глеб Сергеевич

канд. техн. наук, нач. науч.-иссл. Отдела
ФГУП «ВНИИА»,
г. Москва
gleb.zasimov.ru@yandex.ru

Зверева Анастасия Сергеевна

науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
инженер
«ГИ УрО РАН», г. Пермь
zvereva.as59@gmail.com

Злобина Татьяна Викторовна

вед. инженер
«ГИ УрО РАН»
г. Пермь
tata.verkholantseva@gmail.com

Иванченко Галина Николаевна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
ivanchenko@idg.ras.ru

Идармачев Шамиль Гасанович

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИГД ФИЦ РАН
г. Махачкала
idarmachev46@mail.ru

Исаев Мямма Абдулгалимович

мл. науч. сотр.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала

Беседина Алина Николаевна

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
besedina.an@idg.ras.ru

Кабыченко Николай Васильевич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН
г. Москва
kabychenko.nv@idg.ras.ru

Караваев Артем Витальевич

аспирант,
ИДГ РАН
гл. гидрогеолог
АО «Комбинат КМАруда»,
г. Губкин
kentartem.karavayev.88@mail.ru

Карапетян Джон Костикович

канд. геол. наук, директор
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
jon_iges@mail.ru

Китов Иван Олегович

д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
ikitov@mail.ru

Клайн Борис Ицикович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ГО «Борок» ИФЗ РАН
пос. Борок Ярославской обл.
klb314@mail.ru

Кляччин Андрей Игоревич

инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
astrogeolog@mail.ru

Кобелева Елена Анатольевна

канд. физ.-мат. наук, директор
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
ekobeleva@crust.irk.ru

Коковкин Иван Васильевич

мл. науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
kokovkin.i.v@gmail.com

Колесникова Екатерина Яковлевна

вед. инженер Института сейсмологии
и геодинамики,
ИСГ КФУ им. В.И. Вернадского
г. Симферополь
geolog.key@mail.ru

Колодезников Игорь Иннокентьевич

д-р геол.-мин. наук, профессор,
советник Президента
АН РС(Я),
г. Якутск
i-i-kol@yandex.ru

Конечная Яна Викторовна
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
ст. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
yanakon@mail.ru

Константиновская Наталия Львовна
ст. науч. сотр.
ИДГ РАН, г. Москва
konstnat@list.ru

Копничев Юрий Федорович
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
yufk777@mail.ru

Королецки Людмила Николаевна
вед. инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
korol@gsras.ru

Кочарян Геворг Грантович
д-р физ.-мат. наук, проф., гл. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
gevorgkidg@mail.ru

Кошкин Алексей Иванович
вед. программист
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
polinom2686@gmail.com

Көмекбаев Дархан Қалдарұлы
Докторант PhD, мл. науч. сотр.
КАЗНИТУ,
г. Алматы, Казахстан
мл. науч. сотр.
ИГИ НЯЦ РК,
г. Курчатов, Казахстан
d.komekbaev@mail.ru

Красноперов Алексей Владимирович
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ОИЯИ,
г. Дубна
Alexei.Krasnoperov@jinr.ru

Крылов Артем Александрович
канд. физ.-мат. наук
ИО им П.П. Ширшова РАН,
г. Москва
artyomkrlv@ocean.ru

Куляндина Альбина Семеновна
аспирант СВФУ;
вед. инженер-геофизик
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Якутск
albineku@gmail.com

Курткин Сергей Валерьевич
директор
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
kurs@memsd.ru

Кухмазов Арсен Сергеевич
вед. инженер
АО «Атомэнергoproject»,
НПП «ИнфоТЕРРА»
г. Москва
a-kukhmazov@mail.ru

Кухмазов Сергей Улубекович
гл. геофизик
АО «ОЭС»
sergei.kukhmazov@mail.ru

Лисейкин Алексей Владимирович
канд. геол.-мин. наук, директор
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
avl@gs.sbras.ru

Лисунов Евгений Витальевич
мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владивосток
lisunov.evgeniy@gmail.com

Литовченко Ирина Николаевна
вед. науч. сотр.
ННЦСНИ МЧС РК,
г. Алма-Ата, Казахстан
litovira@rambler.ru

Лютикова Вероника Сергеевна
мл. науч. сотр.
ННЦСНИ МЧС РК,
г. Алма-Ата, Казахстан
nikki.valo16@gmail.com

Магомед-Касумов
Магомедрасул Грозбекович
канд. физ.-мат. наук, учёный секретарь
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
rasuldev@gmail.com

Магомедов Аслудин Магомедович
вед. специалист
ПАО «РусГидро»
г. Каспийск
magomedovam@rushydro.ru

Магомедов Хаскил Джарулаевич
директор
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
haskil@dbgsras.ru

Макаров Александр Александрович
вед. инженер
ИГАБМ СО РАН;
вед. инженер-геофизик
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Якутск
makarov.2a@yandex.ru

Макеев Владимир Михайлович
д-р геол.-мин. наук, зав. лаб.
ИГЭ РАН,
г. Москва
vmakeev@mail.ru

Маневич Александр Ильич
науч. сотр.
Геофизический центр РАН,
г. Москва
a.manevich@gcras.ru

Матвеев Евгений Евгеньевич
вед. инженер
ФГУП «ГХК»,
г. Железногорск
pinkfloyd72@mail.ru

Михайлова Анастасия Валентиновна
инженер-программист
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
mihailovaav@gsras.ru

Михайлова Яна Александровна
науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
essm.ras@gmail.com

Морозов Алексей Николаевич
канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
morozovalexey@yandex.ru

Морозова Екатерина Руслановна
мл. науч. сотр.
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН,
г. Архангельск
morozova_er@fciaarctic.ru

Моторин Александр Юрьевич
аспирант, мл. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты;
вед. геофизик
КФ АО «Апатит»,
г. Кировск
ayumotorin@gmail.com

Мурыськин Алексей Сергеевич
инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
muriskinas@gmail.com

Неешпапа Александр Владимирович
зам. ген. директора,
вед. инженер
ООО «Р-сенсорс»
г. Долгопрудный
alexn@r-sensors.ru

Нестеренко Максим Юрьевич
д-р геол.-мин. наук, доцент,
зав. отделом геоэкологии
ОФИЦ УрО РАН,
г. Оренбург
n_mu@mail.ru

Новиков Михаил Андреевич
мл. науч. сотр., аспирант
Институт океанологии им П.П. Ширшова,
г. Москва
mihail.novikow@mail.ru

Носкова Наталия Николаевна
канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
nataliyageo@mail.ru

Овчинников Владимир Михайлович
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
ovtch@idg.ras.ru

Османова Майя Магомедкаримовна
зав. сектором геохимии
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
mrs.osmanova@yandex.ru

Павленко Василий Александрович
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
pavlenko.vasily@gmail.com

Пархоменко Елизавета Эдуардовна
лаборант-исследователь
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН
г. Новосибирск
lilavati21@mail.ru

Пашаян Ромела Артаваздовна
канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
romellapashayan@sci.am

Петрова Наталия Владимировна
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
npetrova@gsras.ru

Петросян Гоарик Размиковна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
gohar@list.ru

Петухова София Максимовна
канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ИДГ РАН
г. Москва
petukhova.sm@idg.ras.ru

Пивоваров Роман Сергеевич
мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
Q5000@mail.ru

Пивоваров Сергей Павлович
науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
serg@geophys.vsu.ru

Полянский Павел Олегович
канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
Polyansky@gs.sbras.ru

Пономарева Наталия Лаврентьевна
науч. сотр. – рук. с/ст «Махачкала»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
natalymak@yandex.ru

Предеин Пётр Алексеевич
канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ГИН СО РАН;
инженер
БуФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Улан-Удэ
petr@bufgs.ru

Пустовитенко Бэлла Гавриловна
д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,
гл. науч. сотр.
ГАУ «КРЦ»,
г. Симферополь
bpustovitenko@mail.ru

Радзиминович Ян Борисович
канд. геол.-мин. наук, нач. сектора
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
ian@crust.irk.ru

Рыжикова Мария Игоревна
зам. зав. отделом
ФИЦ ЕГС РАН
г. Обнинск
masha@gsras.ru

Салтыков Вадим Александрович
д-р физ.-мат. наук, доцент,
гл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
salt@emsd.ru

Санина Ирина Альфатовна
д-р физ.-мат. наук,
гл. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
iasanina51@gmail.com

Саяпина Анна Анатольевна
директор
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
a_sayapina@gsras.ru

Сдельникова Ирина Александровна
канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
sdelnikova@gsras.ru

Сейнасинов Нурбек Асылбекович
Докторант PhD
КазННТУ им. К.И. Сатпаева,
г. Алматы, Казахстан
науч. сотр.
ИГИ НЯЦ РК,
г. Курчатов, Казахстан
anurbek1122@gmail.com

Селезнев Виктор Сергеевич
д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск;
ИГАБМ СО РАН,
г. Якутск
svs0428@mail.ru

Серёжников Николай Александрович
науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
serezhnikov@gs.nsc.ru

Силкин Константин Юрьевич
канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
const.silkin@ya.ru

Соколова Елена Юрьевна

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ФГБУ «ВНИГНИ»;
вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
sokol_l@mail.ru

Соколова Инна Николаевна

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
SokolovaIN@gstras.ru

Соловьев Виктор Михайлович

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
solov@gssbras.ru

Стволина Зинаида Валерьевна

инженер
ФИЦ ЕГС РАН
г. Обнинск
zina.stvolina@yandex.ru

Султанахмедов Мурад Салихович

инженер
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
sultanakhmedov@gmail.com

Таймазов Джамалудин Гаджиевич

канд. физ.-мат. наук, зав. сектором
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
СНС Института геологии ДФИЦ РАН,
г. Махачкала, Россия
dj_taimazov@mail.ru

Татаринов Виктор Николаевич

чл.-корр. РАН, зам. директора по науке,
зав. лабораторией
Геофизический центр РАН,
г. Москва
v.tatarinov@gcras.ru

Татевосян Рубен Эдуардович

д-р физ.-мат. наук, зам. директора
ИФЗ РАН,
г. Москва
ruben@ifz.ru

Товмасын Кристина Гагиковна

ст. инженер
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
kristina.tovmasyan.2020@mail.ru

Тубанов Цырен Алексеевич

канд. геол.-мин. наук, директор
БуФ ФИЦ ЕГС РАН;
вед. науч. сотр.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
geos@ginst.ru

Уколов Денис Александрович

лаборант-исследователь
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН
г. Новосибирск
d.ukolov@g.nsu.ru

Улубиева Татьяна Ростиславна

ст. науч. сотр.
ГС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан,
tanya_55_08@mail.ru

Усольцева Ольга Алексеевна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
Usoltseva @idg.ras.ru

Фатеев Александр Владимирович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН;
ст. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
fateev@gssnsc.ru

Федоров Андрей Викторович

канд. физ.-мат. наук, директор
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
AFedorov@krsc.ru

Федоров Иван Сергеевич

мл. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
IFedorov@krsc.ru

Филиппова Алена Игоревна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИЗМИРАН,
г. Москва, г. Троицк;
ИТПЗ РАН, г. Москва
aleirk@mail.ru

Фомочкина Анастасия Сергеевна

канд. техн. наук, доцент
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени Губкина И.М.;
ст. науч. сотр.
ИТПЗ РАН,
г. Москва
nastja_f@bk.ru

Хотинская Арина Николаевна

техник
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
arinakhotinskaya@mail.ru

Хритова Мария Анатольевна

канд. техн. наук, нач. сектора
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
hritova@crust.irk.ru

Чебров Данила Викторович
канд. физ.-мат. наук, директор
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
danila@emsd.ru

Чемарёв Андрей Сергеевич
науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
andrew@emsd.ru

Чечельницкий Владимир Васильевич
канд. геол.-мин. наук, зам. директора
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
chechel@crust.irk.ru

Чивиева Татьяна Валерьевна
нач сектора
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ,
chivieva-t-v@yandex.ru

Шакирова Александра Альбертовна
канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
shaki@emsd.ru

Шеболтасов Алексей Геннадьевич
мл. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
Lexsheb@mail.ru

Шевкунова Елена Викторовна
науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
elenash@gs.nsc.ru

Шевченко Ирина Васильевна
эксперт
ФГУП «ГХК»,
г. Железногорск
shiv@mcc.krasnoyarsk.su

Шенмайер Анастасия Евгеньевна
мл. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
Shennastya@mail.ru

Шулаков Денис Юрьевич
канд. техн. наук, зав. лаб.
«ГИ УрО РАН»;
науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Пермь
shulakov@mi-perm.ru

Щевьёва Надежда Сергеевна
инженер
ИО РАН,
г. Москва
nadezda.shchevyeva@yandex.ru

Эльтеков Александр Юрьевич
вед. специалист
ФГУП «ВНИИА»,
г. Москва
sasha.eltekov@yandex.ru

Burk, Daniel Robert
Chief Instrumentation Engineer
Department of Earth
and Environmental Sciences
Michigan State University
East Lansing, Michigan, USA
mackeyke@msu.edu

Mackey, Kevin George
Associate Professor
Department of Earth
and Environmental Sciences
Michigan State University
East Lansing, Michigan, USA
mackeyke@msu.edu

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.А. Виноградов. Состояние системы сейсмологических наблюдений в России и перспективы ее развития	3
З.А. Адилов. Мониторинг прогностического параметра τ_{AU} по данным сейсмостанций Дагестана	4
Д.Ж. Акматов, В.Н. Татарин, А.И. Маневич, Б.А. Дзебоев. Исследования напряженно-деформированного состояния земной коры Большого Кавказа на основе геомеханического моделирования	5
И.М. Алёшин, А.Г. Гоев. Техника инверсии приемных функций	6
Г.Н. Антоновская, А.И. Кошкин, Я.В. Конечная, Е.Р. Морозова, Я.А. Михайлова. Ледниковая сейсмичность арх. Земля Франца-Иосифа по наблюдениям Архангельской сейсмической сети	7
О.И. Аптикаева. Неоднородности поля поглощения и каналы распространения деформаций на Памире	8
В.В. Арапов, А.А. Еманов, А. Ф. Еманов, А.В. Фатеев. Характеристика затухания упругих волн локальных землетрясений Алтае-Саянской складчатой области	9
Г.А. Аронов, А.Г. Аронов. Перспективные направления сейсмологических исследований в Беларуси	10
О.А. Асманов. Особенности макросейсмического описания землетрясений Дагестана	11
В.В. Атрохин, С.В. Курткин, М.А. Бахтин, Ю.А. Гавриленко. ГТС хвостового хозяйства ЗИФ АО «ПАВЛИК»	12
В.В. Атрохин, С.В. Курткин, М.А. Бахтин. Сейсмологический мониторинг района гидротехнических сооружений Колымской ГЭС	13
С.С. Багаева, И.Ю. Дмитриева. Ощутимое Мизурское землетрясение 8 ноября 2024 г. с $K_p=10.8$, $I_0=4-5$ баллов	14
С.В. Баранов, А.Ю. Моторин. Длительность опасного периода афтершоков в Хибинском массиве	15
Т.Б. Батыров, М.А. Исаев. Анализ сейсмичности Дагестана за период 2020–2023 гг.	16
А.А. Бах, А.Г. Шеболтасов, А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, П.О. Полянский. Динамические воздействия на ГТС, динамический паспорт	17
А.Н. Беседина, Г.Г. Кочарян. Техногенная сейсмичность. О чем говорят параметры событий малых магнитуд?	18
В.Ю. Бурмин. Определение глубин мантийных землетрясений на примере туркменских землетрясений	19
В.Ю. Бурмин. Оптимальная геометрия сейсмологических сетей Туркменистана	20
В.Ю. Бурмин. Эффективность сейсмологической сети Туркменистана	21
В.В. Быкова, Р.Э. Татевосян. Оценка опасности косейсмических деформаций вероятностным методом	22
А.В. Верхованцев. Определение коэффициента сейсмичности по данным инструментальных измерений сейсмического эффекта отдельно взятого взрыва на карьере	23
Ф.Г. Верхованцев, Р.А. Дягилев. Шкала локальных магнитуд для уральского региона	24
И.С. Владимирова, Ю.В. Габсатаров. Серия землетрясений 2020–2021 гг. в районе Шумагинской бреш: моделирование и оценка остаточного сейсмогенного потенциала	25
Ю.М. Вольфман, Е.Я. Колесникова. Кинематические обстановки сейсмогенеза на границе континентальной и субокеанической коры внутренних бассейнов (на примере Каспийского моря)	26
И.П. Габсатарова, Л.Н. Королецки, З.В. Стволина. Исследование роев слабых землетрясений в юго-восточной части Ставропольского края	27

Н.К. Гайдай. Опыт применения нейросетевого подхода для переинтерпретации геофизических данных при исследовании связи гипоцентров землетрясений и особенностей глубинного строения	28
Н.А. Гилёва, В.И. Мельникова, А.И. Филиппова, Я.Б. Радзиминович. Развитие сейсмического процесса в районе Чарской впадины в 1962–2023 гг. (Байкальская рифтовая зона)	29
Э.М. Горбунова, С.М. Петухова, Н.В. Кабыченко, А.В. Караваев, А.Ю. Федоров. Постсейсмические вариации уровня подземных вод при разработке железорудных месторождений КМА	30
Н.Н. Гриб, Г.В. Гриб, И.И. Колодезников. Картирование тектонических структур методами малоглубинной геофизики	31
П.В. Громыко. Способ контроля целостности объектов железнодорожной инфраструктуры методом инженерно-сейсмического мониторинга	32
Б.А. Дзобоев, А.Д. Гвишиани, В.Н. Татарinov, Б.В. Дзеранов. Осетинский сектор Большого Кавказа: геодинамика и оценка сейсмической опасности	33
Р.А. Дягилев, А.В. Михайлова. Новый сервис доступа к сейсмическим данным аналоговой эпохи регистрации	34
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев. 20 лет изучения техногенной сейсмичности Западной Сибири: основные результаты, текущее состояние и новые вызовы	35
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, И.В. Шевченко, Е.Е. Матвеев, П.О. Полянский, А.А. Бах, Н.А. Сережников, Е.А. Гладышев, В.В. Арапов, В.М. Соловьев. Результаты изучения сейсмических воздействий на объекты ФГУП ГХК (Красноярский край)	36
А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.А. Гладышев, Е.В. Шевкунова, А.В. Фатеев, П.О. Полянский, В.В. Арапов, А.И. Артемова. Динамика сейсмической активности очаговых зон Алтае-Саянской горной области.	37
А.Д. Завьялов, О.Д. Зотов, А.В. Гульельми, Б.И. Клайн. О законе Бата и его зеркальном аналоге	38
А.С. Зверева. Региональная модель высокочастотного приповерхностного затухания (каппа) для территории Северного Кавказа	39
Т.В. Злобина. Некоторые особенности микросейсмической активности на калийных рудниках	40
Ш.Г. Идармачев, И.Ш. Идармачев. Вариации напряженности электрического поля в скважине, связанные с геодинамическими процессами	41
И.О. Китов, И.А. Санина, И.П. Габсатарова. Применение метода кросс-корреляции волновых форм к изучению сейсмичности Северного Урала и Восточного Кавказа	42
А.И. Клянчин, А. С. Зверева. Туапсинская сейсмическая активизация в 2023–2025 гг.	43
Е.А. Кобелева, Я.Б. Радзиминович. Опыт инструментального обследования школы № 64 г. Иркутска	44
И.В. Коковкин, В.С. Селезнев, Е.Э. Пархоменко, Д.А. Уколов. Анализ собственных частот как инструмент диагностики физического состояния плотины	45
Е.Я. Колесникова, М.Н. Бондарь, Ю.М. Вольфман. Структурно-тектоническая позиция и макросейсмические проявления слабой сейсмичности Южного берега Крыма	46
Д.К. Комекбаев, Н.А. Сейнасинов, И.Л. Аристова. Распознавание взрывов и землетрясений на Семипалатинском испытательном полигоне	47
Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова. Неоднородности поля поглощения S-волн и кольцевые структуры сейсмичности, сформировавшиеся перед землетрясением Дингри 7 января 2025 г.	48
А.А. Крылов, М.С. Знаменский. Регистрация сигналов от землетрясений и сейсмических шумов молекулярно-электронными сейсмометрами на арктическом дрейфующем льду	49
А.С. Куляндина, Е.Ю. Соколова, А.И. Филиппова. Сейсмотектоническая позиция очага Хастахского землетрясения (Северо-Западная Якутия) по данным потенциальных полей	50
С.У. Кухмазов, А.С. Кухмазов, В.М. Макеев, И.В. Галушкин, А.М. Магомедов. Особенности глубинной структуры и геодинамические условия Дагестана	51
А.В. Лисейкин, В.С. Селезнев, В.М. Соловьев. Построение разрезов земной коры на всю мощность методом ОГТ по малоамплитудным волнам	52
Е.В. Лисунов, С.В. Горожанцев. О распределении очагов землетрясений в Приморском крае за 2024 год по данным РИОЦ «Владивосток»	53

Е.В. Лисунов, С.В. Горожанцев. Об активизации сейсмичности на территории КНДР в районе полигона Пхунгери (по данным РИОЦ «Владивосток» после 2017 года)	54
В.С. Лютикова, И.Н. Литовченко. Активизация сейсмичности в регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территориях (контуры роев землетрясений)	55
Х.Д. Магомедов. Становление и развитие сейсмологической службы Дагестана	56
А.А. Макаров, В.С. Селезнев. Спектральные характеристики проходческих комбайнов (на примере шахты «Денисовская»)	57
А.В. Михеева. Крипекс-исследование сейсмо-геодинамической обстановки до и после сильных землетрясений континентальной части юго-восточной Евразии	58
А.Н. Морозов, В.Э. Асминг, А.И. Филиппова, Я.Б. Радзиминович, Н.В. Ваганова. Применение метода вероятностной локации для землетрясений Байкальского региона начала XX в.	59
А.Ю. Моторин, С.В. Баранов. Оценка постсейсмической опасности на подземных рудниках в системе «Aftershock»	60
А.С. Мурыськин, А.С. Зверева. Параметры распространения сейсмических волн для территории Среднего Урала	61
С.Б. Наумов. Исследование сейсмического фона в заливе Петра Великого	62
А.В. Неешпапа, А.Н. Антонов, В.М. Агафонов. Регистратор высокого разрешения на базе микросхемы ADS1285	63
М.Ю. Нестеренко, Э.Р. Галеева, В.С. Белов. Природная и техногенная сейсмичность при разработке месторождений твердых полезных ископаемых в Южном Зауралье	64
М.А. Новиков, А.А. Крылов. Особенности глубинного распределения сейсмичности в дельте р. Лены	65
Н.Н. Носкова, В.Э.Асминг. Сейсмологические наблюдения на севере Республики Коми	66
М.М. Османова. Водородная дегазация Земли и связь с сейсмичностью Восточного Кавказа	67
В.А. Павленко. Картирование сейсмической опасности в зарубежных нормах сейсмостойкого строительства (обзор) и модернизация нормирования строительства в РФ	68
Р.А. Пашаян, Д.К. Карапетян, Л.В. Арутюнян, К.Г. Товмасын. Современная геодинамика глубинных разломов территории Армении	69
Н.В. Петрова, М.И. Рыжикова, И.Н. Соколова, Т.Р. Улубиева. Разрушительное землетрясение 13.04.2025 г., $I_0=8$ баллов в Таджикской депрессии	70
Г.Р. Петросян, А.М. Аветисян, В.Ю. Бурмин. Социально-экономические последствия Спитакского землетрясения	71
Р.С. Пивоваров, М.А. Ефременко, С.П. Пивоваров. О землетрясениях на территории южной части Восточно-Европейской платформы	72
С.П. Пивоваров, М.А. Ефременко, Р.С. Пивоваров. О взаимной корреляции энергетических характеристик сейсмических событий на территории центральной части Восточно-Европейской платформы	73
Н.Л. Пономарева, М.М. Ахмедова. Сейсмической станции «Махачкала» ФИЦ ЕГС РАН 75 лет	74
П.А. Предеин, Ц.А. Тубанов, М.А. Хритова. Вариации уровня микросейсм и регистрационные возможности сейсмической сети в районе Центрального Байкала	75
Б.Г. Пустовитенко, М.Н. Бондарь. Очаг и очаговая зона землетрясения в Крымском регионе 22 июня 2023 г. с $M_w=4.8$	76
В.А. Салтыков. О формализации прогнозов землетрясений и параметризации их экспертизы	77
В.А. Салтыков. Особенности афтершоков Вилучинского землетрясения 03.04.2023 г. $M_w=6.6$ (Камчатка)	78
И.А. Санина, Г.Н. Иванченко, Н.Л. Константиновская, О.А. Усольцева. Временные вариации $\lg(A_s/A_p)$ и величина добротности в центральной части Восточно-Европейской платформы	79
А.А. Саяпина, С.В. Горожанцев, Т.В. Чивиева. Инструментальная сейсмология в Северной Осетии: история и перспективы станции «Цей»	80

И.А. Сдельникова, Ю.В. Габсатаров, П.Г. Бутырин, А.Н. Хотинская. Система сбора, обработки, хранения и доступа к спутниковым геодезическим данным ФИЦ ЕГС РАН	81
Н.А. Сейнасинов. Распознавание взрывов и землетрясений в Южном Казахстане по записям сейсмической группы ККАР	82
В.С. Селезнев. Дистанционный контроль состояния турбин ГЭС	83
К.Ю. Силкин. Перспективы применения сверточных нейронных сетей в сейсмологии	84
И.Н. Соколова, И.Л. Аристова, Д.К. Комекбаев. Сейсмические события из района северо- западного Прикаспия	85
В.М. Соловьев, А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, В.С. Селезнев, С.А. Елагин, А.Е. Шенмайер. Вибросейсмический мониторинг среды угледобывающих разрезов (Колыванский и Восточный) Горловской впадины	86
Д.Г. Таймазов, М.Г. Магомед-Касумов, М.С. Султанахмедов. Влияние антропогенных факторов на внутрисуточные вариации сейсмичности	87
Д.Г. Таймазов. Адаптация алгоритма прогноза землетрясений scaling-22 к территории Восточного Кавказа	88
Р.Э.Татевосян, С.Ф.Аптикаев, В.В.Быкова. Определение сейсмической опасности и расчет сейсмических воздействий: новый стандарт	89
Р.М. Туктаров, А.С. Куляндина, С.В. Шибает Сасырское землетрясение 8 февраля 2025 г.	90
О.А. Усольцева, В.М.Овчинников. Особенности сейсмических волн, зондирующих земное ядро под Восточной Африкой	91
А.В. Фатеев, Е.А. Гладышев, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, Е.В. Шевкунова, В.В. Арапов, П.О. Полянский. Бельтирское землетрясение 15.02.2025 г., $M_L=6.4$, $I=6$ баллов (Горный Алтай)	92
А.В. Федоров, И.С. Федоров, В.Э. Асминг, А.Ю. Моторин. Автоматизированная система инфразвукового мониторинга лавинной активности в Хибинском горном массиве ..	93
А.С. Фомочкина, А.И. Филиппова, Ф.Э. Винберг. Построение модели очага землетрясения $M=7.7$ 2025 г. в Мьянме по амплитудным спектрам поверхностных волн	94
М.А. Хритова, А.Ф. Аношко, А.В. Жуков, А.И. Труфанов. Методика распознавания источников сейсмических событий, использующая подход на основе комплексных сетей	95
А.С. Чемарёв, А.А. Шакирова. Этапы извержения вулкана Шивелуч (Россия) в 2022–2024 гг. на основе сейсмологических данных	96
В.В. Чечельницкий. Реакция 12 этажа высотного здания в г. Иркутске на землетрясения	97
А.А. Шакирова. Ретроспективная оценка вариаций уровня сейсмичности Ключевского вул- кана по шкале СОУС'09 (2003–2024 гг.)	98
Д.Ю. Шулаков, А.С. Мурыськин. Краткосрочное прогнозирование крупных обрушений по данным сейсмического мониторинга в условиях Жезказганского месторождения	99
Н.С. Щевьёва, И.С. Владимирова, Ю.В. Габсатаров. Изучение сейсмической активизации Чилийской зоны субдукции в начале XXI в. на основе данных спутниковой геодезии	100
А.Ю. Эльтеков, О.А. Герасимчук, Г.С. Засимов. Новые приборы ВНИИА для сейсмологических наблюдений	101
K.G. Mackey, D.R. Burk, R.A. Dyagilev. Digitization of historic seismogram archives	102
В.А. Салтыков. Сейсмологический мониторинг района вулкана Толбачик (Камчатка) на основе методики СОУС'09	103
А.А. Шакирова, И.С. Ладыгин, Д.В. Чебров, А.Р. Сагирова. Опыт регистрации землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции распределенным акустическим зондированием	104
Приложение 1. Официальные сокращения названий организаций	105
Приложение 2. Сведения об авторах	109

CONTENTS

Yu.A. Vinogradov. The state of the seismological observation system in Russia and the prospects for its development	3
Z.A. Adilov. Monitoring of the TAU prognostic parameter based on seismic stations in Dagestan	4
D.Zh. Akmatov, V.N. Tatarninov, A.I. Manevich, B.A. Dzeboev. Geomechanical modeling and study of the stress-strain state of the Earth's crust of the Greater Caucasus	5
I.M. Aleshin, A.G. Goev. The Receiver Function Inversion Techniqu	6
G.N. Antonovskaya, A.I. Koshkin, Ya.V. Konechnaya, E.R. Morozova, Ya. A. Mikhailova. Glacial seismicity of the Franz Josef Land archipelago based on the Arkhangelsk seismic network	7
O.I. Aptikaeva. Inhomogeneities of the attenuation field and channels of deformation propagation in the Pamirs	8
V.V. Arapov, A.A. Emanov, A.F. Emanov, A.V. Fateev. Characteristics of attenuation of elastic waves of local earthquakes in the Altai-Sayan folded region	9
G.A. Aronov, A.G. Aronov Promising directions of seismological research in Belarus	10
O.A. Asmanov. Features of macroseismic description of earthquakes in Dagestan	11
V.V. Atrokhin, S.V. Kurtkin, M.A. Bakhtin, Y.A. Gavrilenko. Magadan branch of Federal Research Center GS RAS	12
V.V. Atrokhin, S.V. Kurtkin, M.A. Bakhtin. Seismological monitoring of hydraulic structures Pavlik	13
S.S. Bagaeva, I.Yu. Dmitrieva. Mizur earthquake on November 8, 2024, with $K_R=10.8$, $I_0=4-5$	14
S.V. Baranov, A.Yu. Motorin. Duration of the dangerous period of aftershocks in the Khibiny mountains	15
T.B. Batirov, M.A. Isaev. Analysis of the seismic activity in Dagestan for the period 2020–2023	16
A.A. Bach, A.G. Sheboltasov, A.F. Emanov, A.A. Emanov, P.O. Polyansky. Dynamic effects on GTS, dynamic passport	17
A.N. Besedina, G.G. Kocharyan. Technogenic seismicity. What do the parameters of small magnitude events say?	18
V.Yu. Burmin. Determining the depths of mantle earthquakes	19
V.Yu. Burmin. Optimal Geometry of Seismological Networks Turkmenistan	20
V.Yu. Burmin. Efficiency of the seismological network of Turkmenistan	21
V.V. Bykova, R.E. Tatevossian. Hazard assessment of coseismic deformations by probabilistic method	22
A.V. Verkholtantsev. Determination of the seismicity coefficient based on instrumental measurements of the seismic effect of an individual blast in a open-pit mine	23
F.G. Verkholtantsev, R.A. Dyagilev. Local magnitude scale for the Ural region	24
I.S. Vladimirova, Yu.V. Gabsatarov. The 2020–2021 earthquake sequence near the Shumagin gap: modeling and evaluation of residual seismogenic potential	25
Yu.M. Volfman, E.Ya. Kolesnikova. Kinematic settings of seismogenesis at the boundary of continental and suboceanic crust of internal basins (using the Caspian Sea as an example)	26
I.P. Gabsatarova, L.N. Koroletsky, Z.V. Stvolina Study of the swarms of weak earthquakes in the south-eastern part of Stavropol Krai	27
N.A. Gaidai. Application of a neural network approach for reinterpretation of geophysical data in the study of the relationship between earthquake hypocenters and deep crystal structure features	28

N.A. Gileva, V.I. Melnikova, A.I. Filippova, Ya.B. Radziminovich Development of the seismic process in the Chara Depression area in 1962–2023 (Baikal Rift Zone)	29
E.M. Gorbunova, S.M. Petukhova, N.V. Kabychenko, A.V. Karavaev, A.Y. Fedorov. Postseismic variations of groundwater level during the mining of iron ore deposits at the KMA ..	30
N.N. Grib, G.V. Grib, I.I. Kolodeznikov. Mapping of tectonic structures by methods of shallow geophysics	31
P.V. Gromyko. Method for monitoring the structural integrity of railway infrastructure objects using engineering seismic monitoring	32
B.A. Dzeboev, A.D. Gvishiani, V.N. Tatarinov, B.V. Dzeranov. Ossetian sector of the Greater Caucasus: geodynamics and seismic hazard assessment	33
R.A. Dyagilev, A.V. Mikhailova. New software for development of local magnitude scale	34
A.A. Emanov, A.F. Emanov, A.V. Fateev. 20 years of studying technogenic seismicity in Western Siberia: main results, current state and new challenges	35
A.A. Emanov, A.F. Emanov, I.V. Shevchenko, E.E. Matveev, P.O. Polianskii, A.A. Bakh, N.A. Serezhnikov, E.A. Gladyshev, V.V. Arapov, V.M. Soloviev. Results of study of seismic impacts on the objects of Mining and Chemical Combine (Krasnoyarsk region)	36
A.F. Emanov, A.A. Emanov, E.A. Gladyshev, E.V. Shevkunova, A.V. Fateev, P.O. Polyansky, V.V. Arapov, A.I. Artemova. Dynamics of seismic activity in the focal zones of the Altai-Sayan mountain region	37
A.D. Zavyalov, O.D. Zotov, A.V. Guglielmi, B.I. Klain. On the Bath's law and its mirror analogue.....	38
A.S. Zvereva. Regional model of high-frequency near-surface attenuation (κ) for the territory of the North Caucasus	39
T.V. Zlobina. Some characteristics of microseismic activity in potash mines	40
Sh.G. Idarmachev, I.Sh. Idarmachev. Variations in the electric field intensity in a borehole associated with geodynamic processes	41
I.O. Kitov, I.A. Sanina, I.P. Gabsatarova. Study of seismicity of the Northern Urals and Eastern Caucasus using waveform cross-correlation	42
A.I. Klyanchin, A.S. Zvereva. The Tuapse seismic activation in 2023–2025	43
E.A. Kobeleva, I.B. Radziminovich. The experience of instrumental examination of school No 64 in Irkutsk	44
I.V. Kokovkin, V.S. Seleznev, E.E. Parkhomenko, D.A. Ukolov. Natural frequency analysis as a tool for diagnosing the physical condition of a dam	45
E.Ya. Kolesnikova, M.N. Bondar, Yu.M. Volfman. Structural-tectonic position and macroseismic manifestations of weak seismicity of the Southern coast of Crimea	46
D.K. Komekbaev, N.A. Seinasinov, I.L. Aristova. Explosions and earthquakes recognition at the semipa-latinsky test site	47
Yu.F. Kopnichev, I.N. Sokolova. Inhomogeneities of the S-wave absorption field and seismicity ring structures formed before the Dingri earthquake on January 7, 2025	48
A.A. Krylov, M.S. Znamensky. Recording of earthquake signals and seismic noise by molecular-electronic transfer seismometers on arctic drift ice	49
A.S. Kulyandina, E.Y. Sokolova, A.I. Filippova. Seismotectonic position of the Khastakh earthquake source (Northwestern Yakutia) from potential field data	50
S.U. Kukhmazov, A.S. Kukhmazov, V.M. Makeev, I.V. Galushkin, A.M. Magomedov. Features of the deep structure and geodynamic conditions of Dagestan	51
A.V. Liseikin, V.S. Seleznev, V.M. Soloviev. Construction of sections of the earth's crust at full thickness using the CDP method based on low-amplitude waves	52
E.V. Lisunov, S.V. Gorozhantsev. About the distribution of earthquake foci in the Primorsky Territory in 2024 according to the RIOK Vladivostok	53
E.V. Lisunov, S.V. Gorozhantsev. On the increase in seismicity in the territory of the DPRK in the area of the Phungeri site (according to the data of the Vladivostok Regional Center)	54

V.S. Lyutikova, I.N. Litovchenko. Seismicity increase in the region of Northern Tien Shan and adjacent territories (earthquake swarm contours)	55
Kh.D. Magomedov. Formation and development of the seismological survey of Dagestan	56
A.A. Makarov, V.S. Seleznev. Spectral characteristics of roadheaders (on the example of Denisovskaya mine)	57
A.V. Mikheeva. Creepex-study of the seismic and geodynamic situation before and after strong earthquakes in the continental part of Southeastern Eurasia	58
A.N. Morozov, V.E. Asming, A.I. Filippova, Ya.B. Radziminovich, N.V. Vaganova. Application of the probabilistic location method for earthquakes in the Baikal region at the beginning of the 20-th century	59
A.Yu. Motorin, S.V. Baranov. Assessment of post-seismic danger in underground mines in the aftershock system	60
A.S. Muryskin, A.S. Zvereva. Parameters of seismic wave propagation for the territory of the Middle Urals	61
S.B. Naumov. Investigation of the seismic background in Peter the Great Bay	62
A. Neeshpapa, A. Antonov, V. Agafonov. High Resolution Recorder based on ADS1285 Chip ..	63
M.Yu. Nesterenko, V.S. Belov, E.R. Galeeva. Natural and human-induced seismicity during the development of solid mineral deposits in the Southern Urals	64
M.A. Novikov, A.A. Krylov. Features of the depth distribution of seismicity in the Lena River Delta	65
N.N. Noskova, V.E. Asming. Seismological observations in the north of the Komi Republic	66
M.M. Osmanova. Hydrogen degassing of the Earth and its relation to the seismicity of the Eastern Caucasus	67
V.A. Pavlenko. Seismic hazard mapping in foreign earthquake-resistant construction standards (review) and modernization of construction standards in the Russian Federation	68
R.A. Pashayan, J.K. Karapetyan, L.V. Harutyunyan, K.G. Tovmasyan. Modern geodynamics of deep faults in the territory of Armenia	69
N.V. Petrova, M.I. Ryzhikova, I.N. Sokolova, T.R. Ulubieva. Destructive earthquake of 13.04.2025, $I_0=8$, in the Tajik depression	70
G.R. Petrosyan, A.M. Avetisyan, V.Yu. Burmin. Socio-Economic Consequences of the Spitak Earthquake	71
R.S. Pivovarov, M.A. Efremenko, Ph.D, S.P. Pivovarov. About earthquakes on the territory southern part of the eastern european platform	72
S.P. Pivovarov, M.A. Efremenko, Ph.D, R.S. Pivovarov. On the mutual correlation of energy characteristics of local seismic events in the central part of the Eastern European platform	73
N.L. Ponomareva, M.M. Akhmedova. 75 years anniversary of the seismic station "Makhachkala"	74
P.A. Predein, T.A. Tubanov, M.A. Hritova. Ambient seismic noise variations and earthquake detection capabilities in the Central Baikal region	75
B.G. Pustovitlenko, M.N. Bondar. The center and focal zone of the earthquake in the Crimean region on June 22, 2023 with $M_w=4.8$	76
V.A. Saltykov. On the formalization of earthquake forecasts and parameterization of their evaluation	77
V.A. Saltykov. Features of aftershocks of the Vilyuchinsky earthquake 04/03/2023 $M_w=6.6$ (Kamchatka)	78
I.A. Sanina, G.N. Ivanchenko, N. L. Konstantinovskaya, O.A. Usoltseva. Time variations of $\lg(A_s/A_p)$ and Q-factor in the central part of the Eastern European Platform	79
A.A. Sayapina, S.V. Gorozhantsev, T.V. Chivieva. Instrumental Seismology in the North Ossetia Region: History and Prospects of the Tsei Station	80

I.A. Sdelnikova, Yu.V. Gabsatarov, P.G. Butyrin, A.N. Khotinskaya. Baikal equipment for various types of seismological work	81
N.A. Seinasinov. Explosions and earthquakes recognition in southern kazakhstan based on recordings of the kkar seismic ARRAY	82
V.S. Seleznev. Remote control of hydroelectric power station turbines	83
K.Yu. Silkin. Prospects of application of convolutional neural networks in seismology	84
I.N. Sokolova, I.L. Aristova, D.K. Komekbaev Seismic events from the northwestern Caspian region	85
V.M. Solovyov, A.F. Emanov, A.A. Emanov, V.S. Seleznev, S.A. Elagin, A.E. Schoenmaier. Vibro seismic monitoring of the environment of the coal mining sections (Kolyvansky and Vostochny) of the Gorlovka depression	86
D.G. Taimazov, M.G. Magomed-Kasumov, M.S. Sultanakhmedov, Kh.D. Magomedov. Influence of anthropogenic factors on diurnal variations in seismicity	87
D.G. Taimazov. Adaptation of the scaling-22 earthquake prediction algorithm to the territory of the Eastern Caucasus	88
R.E. Tatevossian, S.F. Aptikaev, V.V. Bykova. Seismic hazard assessment and vibratory ground motion: new standard	89
Tuktarov R.M., Kulyandina A.S., Shibaev S.V. Sasyr earthquake February 8, 2025	90
O.A. Usoltseva, V.M. Ovtchinnikov Features of seismic waves probing the earth's core under East Africa	91
A.V. Fateev, E.A. Gladyshev, A.A. Emanov, A.F. Emanov, E.V. Shevkunova, V.V. Arapov, P.O. Polyansky. The Beltir earthquake of February, 15, 2025, $M_L=6.4$, $I=6$ points (Altai Republic)	92
A.V. Fedorov, I.S. Fedorov, V.E. Asming, A.Yu. Motorin. Automated system of infrasonic monitoring of avalanche activity in the Khibiny mountain range	93
A.S. Fomochkina, A.I. Filippova, F.E. Vinberg. Building a model earthquake of the 2025 $M=7.7$ in Myanmar from the amplitude spectra surface wave records	94
M.A. Khritova, A.F. Anoshko, A.V. Zhukov, A.I. Trufanov. A technique for recognizing sources of seismic events using complex network approach	95
A.S. Chemarev, A.A. Shakirova. Stages of the Shiveluch volcano eruption (Russia) in 2022- 2024 based on seismological data	96
V.V. Chechelnitzky. Reaction of the 12th floor of a high-rise building in Irkutsk to earthquakes	97
A.A. Shakirova, V.A. Saltykov. Retrospective assessment of variations in the seismicity level of Klyuchevskoy volcano according to the SESL'09 (2003–2024 years)	98
D.Y. Shulakov, A.S. Muryskin. Short-term forecasting of large collapses based on seismic monitoring data in the conditions of the Zhezkazgan field	99
N.S. Shcheveva, I.S. Vladimirova, Y.V. Gabsatarov. Study of seismic activation of the Chilean subduction zone at the beginning of the 21st century based on satellite geodetic data	100
O.A. Gerasimchuk, G.S. Zasimov, A.Y. Eltekov. New devices from VNIIA for seismological observations.....	101
K.G. Mackey, D.R. Burk, R.A. Dyagilev. Digitization of historic seismogram archives	102
V.A. Saltykov. Seismological monitoring of the Tolbachik volcano area (Kamchatka) based on the SESL'09 methodology	103
A.A. Shakirova, I.S. Ladygin, D.V. Chebrov, A.R. Sagirova. Experience of recording earth- quakes in the Kuril-Kamchatka subduction zone using Distributed Acoustic Sensing	104
Appendix 1. Official names of organizations reducing	105
Appendix 2. Data on authors	109

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ.
ТЕЗИСЫ XVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ**

Махачкала, 8–12 сентября 2025 г.

Подготовка и издание сборника осуществлены при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>)

Отв. редактор: член-корреспондент РАН А.А. Маловичко

Редактор: Ю.А. Виноградов

Технический редактор и компьютерная верстка: А.М. Милехина

Корректор: Д.Ю. Виноградова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
249035, г. Обнинск, Калужская обл., пр. Ленина, д. 189.
Тел.: 8-484-393-14-05, 8-495-912-68-72. E-mail: frc@gsras.ru

Подписано в печать 01.08.2025

Формат 60×90/8. Тираж 110 экз.

Усл. печ. л. 16.

Отпечатано в типографии: ООО «Интер-ЕС»
г. Пермь, ул. Плеханова, 39, тел. (342) 2-150-170.
Заказ № 230671