

**Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
Государственное учреждение «Центр геофизического
мониторинга Национальной академии наук Беларуси»
Национальная академия наук Беларуси**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Тезисы XVI Международной сейсмологической школы
г. Минск, Беларусь, 12–16 сентября 2022 г.**

MODERN METHODS OF PROCESSING AND INTERPRETATION OF SEISMOLOGICAL DATA

**Abstracts of the XVI International Seismological Workshop
Minsk, Belarus, September 12-16, 2022**

Обнинск – 2022

УДК 550.34
ББК 26.217
С568



Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – 134 с. – EDN: BGXMEY

ISBN 978-5-903258-46-8

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XVI Международной сейсмологической школе «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных», состоявшейся в г. Минске, Беларусь, 12–16 сентября 2022 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.), С.Г. Пойгина (техн. ред.), д-р физ.-мат. наук А.Г. Аронов, канд. 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.

Подготовка и издание сборника осуществлены при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) 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/>).

Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Abstracts of the XVI International Seismological Workshop / Editor A.A. Malovichko. – Obninsk: GS RAS, 2022. – 134 p.

Abstracts contain the reports presented at the XVI International Seismological Workshop "Modern methods and interpretation of seismological data" held in Minsk, Belarus, September 12-16, 2022. 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), S.G. Poygina (technical editor), Dr. A.G. Aronov, PhD Yu.A. Vinogradov, PhD R.A. Dyagilev, PhD I.P. Gabsatarova, PhD N.V. Petrova.

ISBN 978-5-903258-46-8

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2022

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

**Ю.А. Виноградов, к.т.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск**

Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук (ФИЦ ЕГС РАН), одна из крупнейших научных организаций в системе Минобрнауки – РАН, фактически является Национальным сейсмологическим центром, включающим более 360 стационарных сейсмических станций и десять региональных информационно-обрабатывающих центров, функционирующих в непрерывном режиме. 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 имеет большое научное значение, и только работы, проводимые в рамках обеспечения бесперебойного функционирования федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (ФССН), а также функциональной подсистемы предупреждения о цунами, имеют строго прикладной характер, направленный на непрерывный сбор большого количества сейсмологических и геодинамических данных, которые тоже имеют очень важное научное значение и широко востребованы как научными организациями различного ведомственного подчинения (Минприроды, Минстрой, МЧС, МО РФ), так и организациями и предприятиями реального сектора экономики. Работа по обработке и представлению полученных данных построена таким образом, чтобы любая заинтересованная организация, независимо от ведомства, могла иметь доступ к информации о землетрясениях почти в режиме реального времени.

В докладе приводится информация о современном состоянии ФССН, оценка результатов ее работы в 2021 году. Также в докладе обсуждаются наиболее значимые достижения, полученные ФИЦ ЕГС РАН в 2021 г., и перспективы по развитию ФССН.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *«О федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений»*. Постановление Правительства РФ от 11 мая 1993 г. № 444. – URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=2&nd=102023416
2. *«Об утверждении Положения о федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений»*. Постановление Правительства РФ от 25 декабря 1993 г. № 1346. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9005091>
3. *Виноградов Ю.А., Рыжикова М.И., Пойгина С.Г., Петрова Н.В., Коломиец М.В.* Сильные землетрясения земного шара во II полугодии 2021 г. по данным ССД ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 4, № 1. – С. 7–27. – doi:10.35540/2686-7907.2022.1.01. – EDN: RYDRHF

РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ЭБЕКО В ПЕРИОД 2018–2020 ГГ.

Р.Р. Акбашев

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В 2018 г. в городе Северо-Курильске на базе сейсмической станции SKR Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН был установлен аппаратно-программный комплекс на базе аналогового датчика «ЭФ-4» [1] для мониторинга градиента потенциала электрического поля атмосферы с целью исследования электростатической структуры эруптивных облаков [2, 3].

За период с 2018 по 2020 г. было зарегистрировано 179 случаев, когда распространение эруптивного облака происходило в безоблачных или малооблачных условиях и сопровождалось откликом в вариациях градиента потенциала электрического поля атмосферы. В результате комплексного анализа данных выявлено четыре типа откликов в вариациях градиента потенциала электрического поля атмосферы, показано, что тип регистрируемого отклика определяется условиями распространения эруптивного облака относительно пункта регистрации, а также определяется взаимным расположением нижней и верхней областей эруптивного облака на момент регистрации отклика. Анализ зарегистрированных данных позволил сделать вывод о том, что нижняя область эруптивного облака имеет, как правило, положительный заряд, а верхняя – отрицательный. Такое распределение объемных униполярных заряженных областей в эруптивном облаке можно объяснить известной фенологической особенностью трибоэлектризации, в результате которой частицы заряжаются разными знаками в зависимости от их размера (SDBC), при этом отрицательный заряд характерен для мелких частиц, а положительный – для более крупных [4].

Условия ветровой стратификации атмосферы определяют взаимное пространственное расположение нижней и верхней областей эруптивного облака на момент регистрации, что в свою очередь определяет тип зарегистрированного сигнала градиента потенциала электрического поля атмосферы. Для подтверждения такой закономерности было проведено численное моделирование откликов градиента потенциала электрического поля атмосферы. В результате были построены идеализированные формы откликов от двух точечных зарядов с их различным взаимным расположением. Формы идеализированных откликов соответствуют данным вариаций градиента потенциала электрического поля атмосферы, зарегистрированных в Северо-Курильске.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ефимов В.А., Орешкин Д.М., Фирстов П.П., Акбашев Р.Р.* Применение электростатического флюксметра ЭФ-4 для исследований геодинамических процессов // Сейсмические приборы. – 2013. – Т. 49, № 4. – С. 35–46. – EDN: QEMPZG
2. *Akbashev R.R., Firstov P.P., Cherneva N.V.* Recording of atmospheric electrical potential gradient in the central part of Kamchatka peninsula // E3S Web Conf. – 2018. – V. 62. – P. 1–8. – doi:10.1051/e3sconf/20186202013
3. *Akbashev R.R., Firstov P.P.* The response of the atmospheric electric potential gradient to the ash clouds of v. Shiveluch and v. Ebeko (Peninsula Kamchatka, Island Paramushir, Russia) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – V. 698 (4). – P. 044042. – doi:10.1088/1757-899X/698/4/044042
4. *Harper J.M., Cimarelli C., Cigala V., Kueppers U., Dufek J.* Charge injection into the atmosphere by explosive volcanic eruptions through triboelectrification and fragmentation charging // Earth and Planetary Science Letters. – 2021. – V. 574. – P. 117162. – doi:10.1016/j.epsl.2021.117162

МОСКОВСКИЙ СЛЕД ИРАНО-ИРАКСКОГО СОБЫТИЯ 12 НОЯБРЯ 2017 Г.

И.М. Алёшин, к.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

Первые наблюдения остаточного смещения от удаленного землетрясения были выполнены в середине прошлого века наклономерами [1–3]. Сомнения в возможности такого рода измерений были развеяны Ф. Прессом [4], наблюдавшим остаточную деформацию телесеismicкого землетрясения с помощью деформографа. Для интерпретации Ф. Пресс использовал формулы статической функции Грина упругого полупространства [5, 6], полученные на основе дислокационной модели очага землетрясения [7]. Позднее полное и всестороннее изучение остаточных смещений было выполнено В.М. Грайзером [8], который показал, что форма возмущения в P - и S -волнах представляет собой суперпозицию квазипериодических сигналов и ступенчатого смещения U_{P0} и U_{S0} соответственно, а перед вступлением поперечной волны – одностороннее длиннопериодное движение U_L [9] – «лапласово смещение» (термин Г.А. Гамбурцева). С удалением от очага величина постоянного смещения затухает обратно пропорционально квадрату расстояния. Кроме того, эффект может быть замаскирован длиннопериодными возмущениями, например, фазой W . Поэтому для экспериментального наблюдения остаточного смещения на телесеismicких расстояниях необходимо одновременное выполнение ряда условий.

В докладе описан наблюдаемый в Москве остаточный наклон от сильного землетрясения 12 ноября 2017 г. вблизи Ирано-Иракской границы. Наблюдение выполнено двумя высокочувствительными наклономерами серии НШ (наклономер штольневый) [10]. Выполнено сравнение наблюдений с результатами статического и динамического моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nishimura E.* On some destructive earthquakes observed with the tiltmeter at a great distance (Study on some phenomena foretelling the occurrence of destructive earthquakes) // *Bulletins - Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.* – 1953. – V. 6. – P. 1–15.
2. *Tomaschek R.* Earth tilts in the British Isles connected with far distant earthquakes // *Nature.* – 1955. – V. 176. – P. 24–25.
3. *Бончковский В.Ф.* Деформации земной поверхности, сопровождающие некоторые катастрофические далекие землетрясения // *Известия Академии наук СССР. Серия геофизическая.* – 1962. – № 2. – С. 190–193.
4. *Press F.* Displacements, strains, and tilts at teleseismic distances // *Journal of Geophysical Research.* – 1965. – V. 70, N 10. – P. 2395–2412.
5. *Chinnery M.A.* The deformation of the ground around surface faults // *Bulletin of the Seismological Society of America.* – 1961. – V. 51, N 3. – P. 355–372.
6. *Maruyama T.* Statical elastic dislocations in an infinite and semi-infinite medium // *Bulletin of Earthquake Research Institute, The University of Tokyo.* – 1964. – V. 42, N 2. – P. 289–368.
7. *Введенская А.В.* Определение полей смещений при землетрясениях с помощью теории дислокаций // *Известия Академии наук СССР. Серия геофизическая.* – 1956. – № 3. – С. 277–284.
8. *Грайзер В.М., Шебалин Н.В.* Волновое поле вблизи разрыва и оценка параметров источника // *Доклады Академии наук СССР.* – 1983. – Т. 268, № 3. – С. 579–583.
9. *Гамбурцев Г.А.* О волнах, вызванных движущимся источником в твердой упругой среде // *Известия Академии наук СССР. Серия географ. и геофиз.* – 1946. – Т. 10, № 1. – С. 31–43.
10. *Алёшин И.М., Иванов С.Д., Корягин В.Н., Кузьмин Ю.О., Передерин Ф.В., Широков И.А., Фаттахов Е.А.* Оперативная публикация данных наклономеров серии НШ на основе протокола SeedLink // *Сейсмические приборы.* – 2017. – Т. 53, № 3. – С. 31–41. – doi:10.21455/si2017.3-3. – EDN: YZLCQL

СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ТЭУТЭДЖАКСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.И. Алёшина, Л.И. Карпенко, к.г.-м.н.,
С.В. Курткин, В.В. Атрохин, Ю.В. Габдрахманова
МФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Магадан

Одним из ресурсных потенциалов горнодобывающего комплекса Магаданской области является Тэутэджакское рудное поле, расположенное в юго-восточной части сейсмического пояса Черского. По данным карт ОСР-2015, объект исследований располагается в 7-, 8- и 9-балльных зонах расчетной сейсмической интенсивности [1]. До настоящего времени сотрясения на изучаемой территории не превышали 4 баллов.

В окрестностях Тэутэджакского рудного поля выделены десять зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) и восемь разломов, генерирующих землетрясения. Определено местоположение потенциальных очагов землетрясений, от которых сейсмический эффект на площадке строительства может быть максимальным. Большинство землетрясений приурочено к крупнейшим глубинным разломам и скрытым разломам фундамента [2, 3]. Согласно механизмам очагов землетрясений, современные типы подвижек по разломам – сдвиги со сбросами и взбросами. Близ эпицентров преобладают субвертикальные смещения ($63-68^\circ$). Очаги большинства сейсмических событий, в том числе и самых сильных, сконцентрированы в диапазоне глубин $h=5-20$ км. По результатам детального сейсмического районирования (ДСР), исходную (фоновую) сейсмичность района Тэутэджакского рудного поля при строительстве особо ответственных объектов следует принять равной 9 баллам по карте ОСР-2015-С, магнитуда наиболее опасного землетрясения, согласно расчетам, составит $MS=7.5$ при эпицентральной дистанции 5 км. Для объектов с нормальным уровнем ответственности исходную сейсмичность следует принять 8 баллов по карте ОСР-2015-В. Магнитуда наиболее опасного землетрясения, согласно расчетам, составит $MS=6.8$ при эпицентральной дистанции 5 км. Согласно проведенным работам по сейсмическому микрорайонированию (СМР), грунты в районе Тэутэджакского рудного поля относятся к I категории по сейсмическим свойствам. Величина исходной сейсмичности здесь уменьшается на 1 балл. Уточненная исходная сейсмичность по карте ОСР-2015-В принята 7 баллов, по карте ОСР-2015-С – 8 баллов.

Методом сейсмических жесткостей и методом регистрации землетрясений и взрывов получены приращения балльности и определена расчетная сейсмичность для десяти площадок, характеризующихся различными горно-геологическими условиями и свойствами грунтов.

Основные результаты исследований отображены в сводной таблице значений расчетной сейсмичности и на карте-схеме сейсмического микрорайонирования.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

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. Кузнецов В.М. Схема тектонического районирования Охотско-Колымского водораздела. Масштаб 1:1 000 000. – Магадан: ФГУП «Магадангеология», 2001. – 8 листов.
3. Козьмин Б.М. Сейсмические пояса Якутии и механизм очагов их землетрясений. – М.: Наука, 1984. – 125 с. – EDN: UDGWSP

РАСЧЕТ ДОБРОТНОСТИ СРЕДЫ ДЛЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ЗОНЫ

¹В.В. Арапов, ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н.

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Алтае-Саянская складчатая область, являющаяся составной частью горной системы Центральной Азии, сейсмически активна и может рассматриваться как постоянно меняющаяся блочная, иерархически организованная геофизическая среда. Землетрясения, регулярно происходящие в этой зоне, свидетельствуют о происходящих здесь активных процессах разрушения земной коры и горообразования. С начала шестидесятих годов прошлого столетия в данном регионе начала формироваться сеть сейсмологических станций, в результате работы которой к настоящему времени накоплен обширный материал об особенностях сейсмического процесса.

Поглощение сейсмических волн в земной коре и верхней мантии – одна из фундаментальных характеристик распространения сейсмических волн, позволяющая делать заключение о составе и физическом состоянии вещества в недрах Земли. Региональные характеристики поглощения необходимо знать для расчета искусственных акселерограмм и оценки параметров колебаний земной поверхности при возможных сильных землетрясениях.

Для оценки поглощения сейсмических волн на частотах выше 1 Гц требуется отделить эффекты поглощения от эффектов излучения очага и локальных эффектов в окрестности очага и точки приема, также влияющих на форму поверхностных колебаний. В таком случае выбираются записи землетрясений с глубокими очагами на одной сеймостанции, что дает возможность использовать прямые объемные волны и минимизировать число локальных эффектов [1].

В настоящей работе для оценки $Q(f)$ использован так называемый метод «нормализации по коде», разработанный и описанный в работах К. Аки [1], Т.Г. Раутиан [2] и др. Данный метод не требует предположений ни о частотной зависимости $Q(f)$, ни о форме очагового спектра. Добротность среды оценивается независимо для нескольких частот, при этом для получения информации об очаговых спектрах используются кода-волны.

По результатам всех произведенных вычислений, описанных выше, были получены значения добротности для всех станций. Далее были построены специальные таблицы для дальнейшего создания карт с их помощью. Анализируя полученные карты, можно сделать вывод о сильной неоднородности Алтайского, Саянского и Тувинского регионов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Wu R.S., Aki K.* Multiple scattering and energy transfer of seismic waves – Separation of scattering effect from intrinsic attenuation II. Application of the theory to Hindu Kush region // *Pure and Applied Geophysics.* – 1988. – V. 128, Is. 1-2. – P. 49–80. – doi:10.1007/BF01772590
2. *Раутиан Т.Г., Халтурин В.И.* Спектральные свойства коды местных землетрясений как инструмент изучения очагового излучения // *Доклады Академии наук СССР.* – 1976. – Т. 226, № 3. – С. 566–569.

О РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

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

Западная часть Союзного государства включает территорию Беларуси, территории областей России: Псковской, Смоленской, Брянской, Воронежской, а также анклава России – территорию Калининградской области. Этот регион вместе с территориями Прибалтийских государств и северными областями Украины и Польши находится в пределах западной части древней Восточно-Европейской платформы. В тектоническом отношении это единый регион, имеющий сходное геологическое развитие и общие современные геодинамические условия. Регион характеризуется слабой сейсмической активностью, однако имеются сведения и о возникновении достаточно сильных землетрясений. При этом проблема осложняется большой плотностью населения на этой территории; отсутствием у населения какого-либо сложившегося иммунитета к землетрясениям, к которому следует отнести и строительство без учета сейсмических воздействий; отсутствие знаний о первоочередных действиях в случае возникновения землетрясений; психологический негативный эффект неожиданности. Последний фактор связан с относительно большим периодом повторения сейсмических событий в платформенных областях, а не с их отсутствием.

Серия Калининградских землетрясений 21 сентября 2004 г. показала, насколько актуальна проблема оценки сейсмической опасности западной части Восточно-Европейской платформы. Для решения этой важной задачи, а также для контроля текущего состояния сейсмичности и в дальнейшем ее прогнозирования, необходимо создать эффективную систему сейсмологического мониторинга на этой территории. Существующая система мониторинга недостаточна для полноценного решения этих задач. Сложившаяся геополитическая ситуация, когда часть российской территории в виде анклава Калининградской области изолирована от метрополии, создает серьезную проблему охвата сейсмологическим контролем удаленной территории. Кроме того, западные области Российской Федерации, примыкающие к Украине, Беларуси и к странам Балтии, недостаточно надежно обеспечены сейсмологическим контролем.

Развитие системы сейсмологического мониторинга на территории западной части Союзного государства даст возможность:

- обеспечить эффективный контроль территории западной части Союзного государства Россия–Беларусь с целью изучения сейсмичности региона и решения задач, связанных с оценкой сейсмической опасности;
- создать основу единого научно-технического и информационного пространства в области сейсмологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аронов А.Г.* Беларусь и западные территории России – это единый сейсмотектонический регион // Общественно-политический журнал «Союзное государство». Постоянный Комитет Союзного государства. Наука и техника [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.postkomsg.com/science/206935/>. – Дата публикации: 18.02.2016.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ВЗРЫВОВ НА РЕЧИЦКОМ НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., Г.А. Аронов, В.А. Егорова,
Ю.В. Мартинович, О.С. Раецкая, Н.В. Сасина, к.г.-м.н., К.В. Терещенко
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Речицкое нефтяное месторождение приурочено к приподнятому крылу крупной антиклинальной структуры, связанной со ступенеобразующей зоной Речицко-Вишанской разломной зоны Припятского прогиба [1]. В настоящее время проводится доразведка месторождения с целью выявления новых коллекторов нефти, в т.ч. с использованием методов глубинной сейсморазведки.

Изучение специальной литературы по оценке степени сейсмических воздействий в районах проведения буровзрывных работ показало, что в основном все публикации посвящены оценке сейсмического влияния на здания и сооружения, расположенные на расстоянии нескольких сотен метров и первых километров от массовых короткозамедленных взрывов мощностью до нескольких десятков тонн, производимых в промышленных масштабах в карьерах. В данной работе ставилась задача оценить степень сейсмических воздействий для близких расстояний от 30 до 100 м при проведении одиночных взрывов мощностью до 4 кг ВВ.

Национальная нормативная документация с методикой, определяющей безопасные критерии проведения буровзрывных работ в ближней зоне, не разрабатывалась. В качестве основного нормативного документа в работе использовались «Единые правила безопасности при взрывных работах. ПБ 13-407-01», утвержденные Постановлением № 3 Госгортехнадзора России от 30.01.2001 г. [2].

Анализ литературных материалов [3–5] и проведенная обработка данных регистрации взрывов дали возможность принять в качестве верхнего порога безопасного для зданий и сооружений уровня сейсмических воздействий значение скорости смещения грунта 0.8 см/с.

Проведенный комплекс инструментальных наблюдений позволил сделать выводы по использованию результатов работы для обоснования выбора безопасных расстояний при проведении буровзрывных сейсморазведочных работ от площадок размещения зданий, сооружений и коммуникаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хомич П.З.* Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ/редкол. – Минск: Адукацiя i выхаванне, 2002. – 528 с.
2. *Единые правила безопасности при взрывных работах (ПБ 13-407-01):* утв. постановлением Госгортехнадзора России от 30.01.2001 г. № 3. – Введ. 01.03.2002. – 228 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901781441>
3. *Ипатов Ю.И.* К исследованию зависимости сейсмического воздействия взрыва на окружающую среду от природных и техногенных факторов // Геофизика и математика. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. – С. 355–358.
4. *Адушкин В.В., Сивак А.А., Соловьев С.П., Перник Л.М., Кишкина С.Б.* Геоэкологические последствия массовых химических взрывов на карьерах // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2000. – № 6. – С. 554–563.
5. *Антикаев Ф.Ф., Гиттис В.Г., Кофф Г.Л., Фролова Н.И.* Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – 54 с.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ВЗРЫВАХ НА ГРАНИТНОМ КАРЬЕРЕ «МИКАШЕВИЧИ» В БЕЛАРУСИ

А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., Т.И. Аронова, к.г.-м.н., В.А. Егорова, А.А. Курсевич
Ю.В. Мартинович, О.С. Раецкая, Н.В. Сасина, к.г.-м.н., К.В. Терещенко
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Работа посвящена инструментальной оценке сейсмического воздействия на жилую застройку г. Микашевичи при проведении массовых промышленных взрывов на гранитном карьере «Микашевичи». Наблюдения проводились цифровыми станциями в составе короткопериодных трехкомпонентных сейсмометров-велосиметров 3DLite (Lennartz Electronic, Германия) [1] и регистраторов сейсмических сигналов Дельта-03М (ГЕОТЕХ, Россия) [2].

Для получения обоснованных данных о характере сейсмических воздействий от взрывов различной мощности, производимых на разных горизонтах, были изучены:

- характер затухания суммарной векторной скорости и ее составляющих от расстояния как для отдельных взрывов, так и для всех исследуемых взрывов;
- зависимость суммарной векторной секторной скорости от приведенного расстояния.

Полученные значения суммарной векторной скорости и ее составляющих позволили проследить характер затухания сейсмического эффекта в разных направлениях, а также выделить обобщенную характеристику сейсмического воздействия от взрывов. В качестве основного критерия оценки сейсмической опасности использовалось значение суммарной векторной скорости движения частиц (колебаний) грунта, максимальное значение которого по результатам обработки данных сейсмологических наблюдений не превысило 0.5 см/с . Макросейсмический эффект массовых промышленных взрывов не превысил 4 баллов по шкале MSK-64 на жилую застройку. Таким образом, инструментально зарегистрированные и изученные взрывы на гранитном карьере «Микашевичи» не создают критического сейсмического эффекта. Разработаны рекомендации по дальнейшему изучению сейсмических воздействий при проведении буровзрывных работ на карьере.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Техническая документация фирмы «Lennartz electronic GmbH»*. LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. – Tubingen, Germany, 2012. – 30 с.
2. *Регистратор сейсмических сигналов «Дельта-03»*. Руководство по эксплуатации. ИТЛЯ.416611.004 РЭ. – М., 2007. – 20 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ В АЛГОРИТМАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВСТУПЛЕНИЯ P-ВОЛН

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

Автоматическое определение времени вступления фаз сейсмических волн является одной из важных задач сейсмологии. Очевидно, постоянная запись сейсмических сигналов является непродуктивной и затратной, поскольку сейсмический шум, который составляет основной объем записи, представляет особый интерес только для узкого класса задач. Для того, чтобы избежать «захламления» памяти ненужными записями, требуется производить определение вступления фаз полезного сигнала. С этой задачей справляется опытный сейсмолог-интерпретатор. Однако в нынешнее время это и экономически нецелесообразно, и практически очень сложно, так как людских ресурсов и времени на принятие управленческих решений не хватает. К настоящему времени разработаны многочисленные алгоритмы для решения этого вопроса. Эти алгоритмы основаны на критериях энергетических соотношений, таких как изменения соотношения STA/LTA, полярности сейсмических волн, или с использованием искусственных нейросетей, методов исследования максимума правдоподобия, теории нечеткой логики, вейвлет преобразования, статистик высокого порядка и их гибридов [1].

Использование величин математической статистики и производных от них обосновано предположением о том, что сейсмический шум математически описывается нормальным распределением. В связи с этим временной переход от нормального распределения к негауссовскому свидетельствует о возможном начале сейсмического события. В работе проводится сравнение результатов ручной обработки с классическим алгоритмом STA/LTA, основанном на соотношениях амплитуд регистрируемого сейсмического сигнала [2], его модифицированной версией, применяемой к фрактальной размерности [3], идентификатором вступления фазы, рассчитываемым по коэффициентам асимметрии и эксцесса [1], и алгоритмом, использующим статистику высокого порядка с дальнейшим построением характеристической функции и расчетом информационного критерия Акаике [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Saragiotis C.D., Hadjileontiadis L.J., Panas S.M.* PAI-S/K: A Robust Automatic Seismic P Phase Arrival Identification // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2002. – V. 40. – P. 1395–1404. – doi:10.1109/TGRS.2002.800438
2. *Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm* [Электронный ресурс]. – URL: https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_4097/component/file_4098/content
3. *Zhang J., Tang Ya., Li H.* STA/LTA Fractal Dimension Algorithm of Detecting the P-Wave Arrival // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2018. – V. 108. – P. 230–237. – doi:10.1785/0120170099
4. *Kuperkoch L., Meier T., Lee J., Friederich and EGELADOS Working Group.* Automated determination of P-phase arrival times at regional and local distances using higher order statistics // Geophysical Journal International. – 2010. – V. 181. – P. 1159–1170. – doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04570

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В.А. Аронов
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Информационно-аналитический центр геофизического мониторинга (далее – ИАЦ ГМ) функционирует в составе Государственного учреждения «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси». Созданный в 2004 г. на основании и в соответствии с национальными нормативными документами [1], ИАЦ ГМ осуществляет информационно-аналитическое обеспечение геофизического мониторинга в рамках двух государственных систем: Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – НСМОС РБ) и Системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера Республики Беларусь (СМПЧС РБ).

ИАЦ ГМ в своей деятельности решает следующие основные задачи: управление процессами сбора, хранения, обработки, обобщения и анализа данных геофизического мониторинга, их информационно-техническое обеспечение; снабжение в согласованные сроки соответствующих заинтересованных организаций оперативной информацией о сейсмической и геомагнитной обстановке в республике и в мире с целью контроля возможного возникновения опасных ситуаций и минимизации последствий воздействия геофизических процессов и явлений; обеспечение обмена информацией с аналогичными организациями зарубежных стран и международными центрами данных.

В последнее время значительно возрос спрос на результаты геофизического мониторинга вследствие развития национальных проектов и международного взаимодействия. В связи с этим на ИАЦ ГМ в настоящий момент возложены особые функции, повышающие требования к оперативности и качеству предоставляемой информации. Дальнейшее развитие деятельности ИАЦ ГМ связано со следующим направлениями:

- развитие научно-технических основ оптимизации процесса сбора, хранения, обработки, анализа данных геофизических наблюдений, а также организации и актуализации баз данных, получаемых в результате проведения геофизического мониторинга;
- повышение эффективности обобщения комплексной информации по данным мониторинговых наблюдений и прогноза их изменений на основе внедрения более современных геоинформационных систем;
- повышение оперативности и качества представления мониторинговой информации соответствующим организациям для принятия управленческих решений в области обеспечения безопасности жизнедеятельности людей, а также для информирования граждан.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И., Аронов В.А.* Геофизический мониторинг в Беларуси // Мониторинг состояния окружающей среды в целях устойчивого развития. 25 лет Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: материалы Международной научной конференции. – Минск: Изд-во ООО «Ажур-Групп», 2018. – С. 118–122.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В БЕЛАРУСИ

Г.А. Аронов
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Первые инструментальные сейсмические наблюдения в Беларуси начались в 1965 г. после строительства геофизической обсерватории в Плещеницах. В целом белорусская наблюдательная сейсмическая сеть была организована в 1980 г. и вошла в состав Единой сети сейсмических наблюдений СССР. В 2001 г. было создано Государственное учреждение «Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси», основной задачей которого является проведение научно-технологических и экспериментальных работ по геофизическому мониторингу опасных геодинамических явлений и процессов.

Развитие сети наблюдений на территории Беларуси связано в основном с созданием Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь и Системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [1, 2].

Современные сейсмологические наблюдения в Беларуси проводятся в геофизических обсерваториях «Плещеницы» и «Нарочь», а также двумя локальными сетями: первая – в Солигорском горнопромышленном районе в составе сейсмических станций «Волоты», «Тесово», «Устронь», «Чижовка», «Копачевичи», «Раёвка», «Махновичи», «Листопадовичи»; вторая – в Островецком районе в составе сейсмических станций «Бояры», «Градовщица», «Вадатишки», «Селище», «Горная Каймина», «Воробьи», «Литвяны». Все станции работают в режиме, близком к реальному времени, с непрерывной передачей информации в центр сбора и обработки информации в Минске.

На геофизических обсерваториях в составе сейсмических станций используются регистраторы сейсмических сигналов Centaur с трехкомпонентными широкополосными сейсмометрами T120-QA-SV1 (изготовитель Nanometrics Inc, Канада). Основной задачей этих станций является обеспечение контроля над происходящими сейсмическими событиями естественного и искусственного происхождения в широком диапазоне энергий и эпицентральных расстояний.

На Солигорской и Островецкой локальных сетях непрерывные наблюдения проводятся аппаратурой, состоящей из регистраторов сейсмических сигналов Дельта-03 (изготовитель – «ГЕОТЕХ», Россия) и короткопериодных трехкомпонентных сейсмометров LE-3Dlite (изготовитель – Lennartz Electronic, Германия).

Центр осуществляет оперативное взаимодействие с Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, международными центрами данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *О создании Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС)*: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 20 апреля 1993 г., № 247 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – Минск, 1993. – 6 с. – URL: https://belzakon.net/Законодательство/Постановление_Совета_Министров_РБ/1994/95721
2. *Об утверждении положения о системе мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера*: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 19 ноября 2004 г., № 1466 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – Минск, 2004. – 4 с. – URL: https://belzakon.net/Законодательство/Постановление_Совета_Министров_РБ/2004/79408

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СТОХОДСКО-МОГИЛЕВСКОГО РАЗЛОМА В ПРИПЯТСКОМ ПРОГИБЕ

Г.А. Аронов

ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Стоходско-Могилевский разлом является краевым супер региональным доплатформенным разломом с северо-восточным простираем в Припятском прогибе. Прогиб представляет собой субширотно вытянутый грабен, расположенный между периклиналями Белорусской и Воронежской антеклиз и Жлобинской седловины на севере и Украинским щитом на юге. Максимальная длина прогиба около 280 км, ширина – до 130 км [1]. Основные параметры Стоходско-Могилевского разлома: длина – 175 км; зона динамического влияния – 10–12 км; средний азимут простираения – 45–65°; глубинность заложения – мантийный; характеристика плоскости разлома – листрический; время формирования – доплатформенный [2].

Проведены исследования пространственно-временного развития геодинамического процесса на основе изучения пространственно-временного проявления сейсмичности. Для этой цели проанализированы результаты мониторинга сейсмической обстановки за период с 1983 по 2021 год. Получено площадное распределение эпицентров землетрясений, приуроченных к зоне действия разлома, и в результате была околнурена сейсмоактивная зона разлома. Определено пространственно-временное распределение эпицентров землетрясений в проекции на долготу. Установлено, что проявление землетрясений в пределах сейсмоактивной зоны разлома происходило неравномерно и в пространстве, и во времени. При детальном анализе развития сейсмического процесса выделены этапы проявления сейсмичности в разломной зоне на основе временных периодов активности и площадного распределения эпицентров землетрясений. Построенный групповой механизм очагов по совокупности землетрясений в сейсмоактивной зоне дал возможность определить вид сейсмодислокации.

На основе выполненных исследований определен сейсмотектонический потенциал активной зоны Стоходско-Могилевского разлома. Всего за период 1983–2021 гг. произошло 361 землетрясение, в среднем – 9.76 землетрясений в год. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составил $\Sigma E = 9.33 \cdot 10^9$ Дж со средним значением $0.25 \cdot 10^9$ Дж в год. Диапазон энергетических классов зарегистрированных землетрясений $K = 4.4–9.0$ или диапазон магнитуд $M = 0.2–2.8$. Оценка площадного распределения землетрясений, приуроченных к разлому, показала, что зона выделяется в пределах координат северной широты $52.61–53.25^\circ$ и восточной долготы $26.69–28.32^\circ$. При этом в анализируемой зоне землетрясения проявляются как в ее центральной части, так и в восточной и западной краевых частях. Самым активным по количеству землетрясений (216) и наибольшему количеству выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 4.09 \cdot 10^9$ Дж) оказался период 2013–2021 гг. Самое сильное землетрясение произошло 01.12.1983 г. в восточной части разломной зоны с параметрами $K = 9.0$, $M = 2.8$, $E = 1.0 \cdot 10^9$ Дж. Общий характер сейсмодислокации – сбросо-сдвиг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Геология Беларуси* / Под общ. ред. А.С. Махнача и др. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
2. *Разломы земной коры Беларуси* / Под ред. Р.Е. Айзберга. – Минск: Красико-Принт, 2007. – 372 с.

РЕЖИМНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Т.И. Аронова, к.г.-м.н., А.Г. Аронов, д.ф.-м.н.,
О.В. Захаревич, О.И. Кочеткова, И.М. Волчек, Ю.В. Мартинович
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Локальная сейсмологическая сеть в районе размещения Белорусской АЭС была организована в 2008 году. Локальная сеть состоит из семи сейсмических станций, расположенных на расстоянии 20–25 км от АЭС в населенных пунктах Вадатишки, Градовщина, Бояры, Селище, Воробьи, Горная Каймина и Литвяны. Все станции оборудованы однотипной аппаратурой в составе регистратора сейсмических сигналов Дельта-03 с короткопериодными трехкомпонентными сейсмометрами LE-3Dlite, установленными в углубленных сооружениях. Оперативный контроль работоспособности аппаратуры на пунктах наблюдений осуществляется по каналам мобильной связи.

В процессе мониторинга был изучен частотный состав сейсмических колебаний для зарегистрированных землетрясений, техногенных событий и сейсмических шумов. Проведен анализ временного хода сейсмических шумов по каждому пункту наблюдений. Следует отметить случайные аномальные отклонения в параметрах шума, связанные с локальными техногенными факторами вблизи места установки сейсмометров. Составлены волновые портреты и изучены спектральные свойства различных типов сейсмических помех: локальных, возникающих от различного рода передвижений вблизи установки аппаратуры; помех от движения автотранспорта; сезонных помех (треск льда и т.д.).

Сеть обеспечила регистрацию сейсмических событий в широком диапазоне эпицентральных расстояний и энергий. Все зарегистрированные землетрясения идентифицировались как далекие, региональные, близкие, местные и техногенные сейсмические события (взрывы). Очаги землетрясений, расположенные на удалении от площадки АЭС более чем на 1000 км, отнесены к далеким землетрясениям. Землетрясения, зарегистрированные на удалении от 300 до 1000 км, отнесены к региональным. К близким землетрясениям отнесены сейсмические события (природного характера) от 30 до 300 км в зоне вокруг площадки АЭС, а к местным (локальным) землетрясениям отнесены сейсмические события в 30-км зоне вокруг площадки АЭС. Близкие землетрясения зарегистрированы в южной части Беларуси (Солигорский район), на территориях Литвы и Латвии.

В результате обработки определены величины параметров для зарегистрированных далеких, региональных и близких землетрясений, оказавших наибольшее сейсмическое воздействие на площадку АЭС. Получены максимальные значения смещений, скоростей смещений и пиковых ускорений.

Основные результаты заключались в уточнении характеристик и параметров сейсмичности территории размещения площадки Белорусской АЭС и уточнении параметров сейсмических колебаний уровней проектного землетрясения ПЗ и максимального расчетного землетрясения МРЗ. Полученные значения максимальных ускорений от далеких, региональных и близких землетрясений за весь период наблюдений оказались значительно меньше величин, предусмотренных проектными основами для Белорусской АЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аронов А.Г.* Сейсмологические исследования при строительстве Белорусской АЭС // Наука та будівництво. – 2015. – № 4. – С. 40–44.
2. *Аронов А.Г.* Сейсмологические исследования для размещения АЭС в Республике Беларусь // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 4 (64). – С. 111–119.

ПЛОЩАДНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ТУПОЛАНГСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ф.Р. Артиков
ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Для построения площадного распределения локальных сейсмических событий за последний период в зоне влияния Туполангского водохранилища необходимо составить местный каталог землетрясений для зоны ее возможного активного влияния. Исследование особенностей проявления сейсмичности в связи с эксплуатацией объекта требует длительного непрерывного наблюдения с накоплением статистики о землетрясениях не только по сильным, но и в основном по слабым землетрясениям менее 10 энергетического класса. Радиус этой зоны составляет: для ближней зоны – от 0 до 100 км, для средней зоны – от 100 до 200 км, для дальней зоны – до 200–350 км.

Действовавшая в период проведенных нами исследований региональная сеть сейсмостанций не всегда позволяла получить полную информацию о слабых местных землетрясениях вблизи Туполангского водохранилища. Поэтому в качестве информационной основы при составлении местного каталога для ближней зоны Туполангского водохранилища за период 2011–2021 гг. использовали следующие источники: сводный каталог землетрясений Республиканского центра сейсмопрогностического мониторинга при МЧС РУз с 2018 по 2021 г.; каталог землетрясений ФИЦ ЕГС РАН, Россия; каталог землетрясений Опытной-методической экспедиции Национального ядерного центра Республики Казахстан; данные центра мониторинга «Объединенные научно-исследовательские институты сейсмологии» IRIS; данные цифровых сейсмических станций, установленных лабораторией техногенной сейсмичности Института сейсмологии АН РУз за период 2004–2021 гг. в районе водохранилища Туполанг [1].

В районе возможного активного влияния Туполангского водохранилища с 2018 по 2021 г. также действовали региональные сейсмические станции Республиканского центра сейсмопрогностического мониторинга при МЧС РУз: «Китаб» – 100 км, «Пачкамар» – 110 км к югу, «Байсун» – 85 км к юго-западу, где использованы приборы Guralp CMG-6TD и Vebtroncs. В 2011–2021 гг. зафиксировано 563 землетрясения в районе возможного активного влияния Туполангского водохранилища ($R \leq 100$ км). Из них 100–110 – это искусственные землетрясения, большинство из которых – взрывы в карьерах, эксплуатируемых в зоне исследований. Они вычищены из каталога. При составлении каталога местных землетрясений и построении площадного распределения локальных сейсмических событий были включены данные только по тем землетрясениям, которые точно соответствовали по всем параметрам как минимум трем из шести перечисленных выше сейсмометрических источников. Основываясь на этих данных и каталогах землетрясений, нами составлен местный каталог землетрясений и построены схемы площадного распределения локальных сейсмических событий, в которые, помимо зарегистрированных землетрясений, были добавлены данные из нескольких указанных выше источников.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Артиков Ф.Р.** Возможности оценки гидрологического режима и сейсмического состояния зоны Туполангского водохранилища // *Seysmologiya Muammolari* (Проблемы сейсмологии). – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 97–105.

ПОТОКОВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ, ЛОКАЦИИ И ДИСКРИМИНАЦИИ PSDL

В.Э. Асминг, к.ф.-м.н., С.В. Асминг, к.б.н.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Анапты

В 2014–2020 гг. в Кольском филиале (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН была разработана система автоматического детектирования и локации сейсмических событий NSDL, которая была успешно применена для мониторинга сейсмичности Северо-Западного региона [1]. Также в КоФ был разработан ряд программ для детектирования и локации инфразвуковых событий по данным инфразвуковых групп [2]. Проводилось изучение критериев различения событий разной природы по сейсмическим записям [3].

В 2021–2022 гг. на базе этих наработок была создана потоковая система автоматического детектирования и локации сейсмических и инфразвуковых событий PSDL. В ней алгоритмы детектирования и локации сейсмических событий, ранее реализованные в NSDL в виде отдельных программ, были реализованы в виде модулей, способных выполняться параллельно, что дало существенный выигрыш в производительности системы на многоядерных процессорах.

Также в виде отдельных модулей были реализованы детектор и локатор инфразвуковых событий. Появилась возможность автоматической ассоциации инфразвуковых сигналов с сейсмическими.

В систему была включена процедура дискриминации сейсмических событий, основанная на Байесовских сетях доверия [4]. Эта процедура выдает оценки вероятностей того, чем являлось событие – взрывом, землетрясением или льдотрясением. Вероятности здесь понимаются в Байесовском смысле, т.е. как оценки шансов на правильность того или иного варианта.

В систему включена возможность по запросу пользователя для особо интересных событий автоматически сформировать и выполнить запрос к данным мировой сети FDSN [5]. После поступления данных система автоматически производит повторную локацию и дискриминацию.

В настоящее время система рутинно работает в КоФ ФИЦ ЕГС РАН.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров А.В., Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Прокудина А.В. Система автоматического мониторинга сейсмичности Европейской Арктики // Сейсмические приборы. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 29–39. – doi:10.21455/si2018.1-3. – EDN: YUOLJG
2. Асминг В.Э., Федоров А.В., Виноградов Ю.А., Чебров Д.В., Баранов С.В., Федоров И.С. Быстрый детектор инфразвуковых событий и его применение // Геофизические исследования. – 2021. – Т. 22, № 1. – С. 54–67. – doi:10.21455/gr2021.1-4 54
3. Годзиковская А.А., Асминг В.Э., Виноградов Ю.А. Ретроспективный анализ первичных материалов по сейсмичности Кольского полуострова и прилегающих территорий в XX веке. – М.: ООО «Ваш полиграфический партнер», 2010. – 135 с.
4. Асминг В.Э., Асминг С.В., Федоров А.В., Евтюгина З.А., Чигерев Е.Н., Кременецкая Е.О. Система автоматического распознавания типов источников региональных сейсмических событий // Сейсмические приборы. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 39–56. – doi:10.21455/si2022.2-2. – EDN: MSOZRN
5. Suárez G., van Eck T., Giardini D., Ahern T., Butler R., Tsuboi S. The International Federation of Digital Seismograph Networks (FDSN): An integrated system of seismological observatories // IEEE Systems Journal. – 2008. – Т. 2, № 3. – С. 431–438. – doi:10.1109/JSYST.2008.2003294

О ДЕТАЛЬНОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Б.А. Ассиновская, к.ф.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург

В результате предыдущих исследований автором была получена оценка вероятностной сейсмической опасности Баренцевоморского региона и с использованием системы CRISIS 2014 рассчитаны значения максимальных ожидаемых движений грунта, а также построены карты сейсмической опасности для периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет (10%, 5% и 1% вероятности превышения в ближайшие 50 лет) [1]. В результате оказалось, что наиболее уязвимые в сейсмическом отношении области располагаются на северо-западе, а потенциально продуктивные по углеводородам площади концентрируются в центральной части Баренцева моря. Конкретно по зонам: максимальные значения ускорений выявлены на Шпицбергене и вокруг (108–250 $см/с^2$); промежуточные – на Новой Земле (50–100 $см/с^2$); меньше – на Северо-Баренцевском поднятии (40–80 $см/с^2$); минимальные – в Центральном-Баренцевском прогибе (25–48 $см/с^2$). На следующем этапе исследований в центральной части моря выделен район расположения перспективных нефтегазоносных площадей размером 600×600 км. Область характеризуется неравномерно распределенной сейсмичностью, но большой плотностью линейментов на карте деформаций М.К. Овсова [1] и присутствием так называемых покмарков – деформационных структур в верхних горизонтах осадочного чехла [2], вероятно, связанных с активными разломами на глубине и современными ледовыми процессами. Для расчета опасности составлен каталог землетрясений для района с координатами $\varphi=72-80^{\circ}N$, $\lambda=17-46^{\circ}E$, состоящий из 3000 событий с магнитудами $M_w=0.6-6.2$ и глубинами до 42 км. Повторяемость событий выражалась формулой $\lg N/T = -0.8M_w + 3.6$. Зоны регионализации в пределах 500-километровой центральной зоны моря выделялись особым образом на основе уровня неоднородности земной коры [1, 3] в сопоставлении с картами локальных структур в осадочном чехле и покмарков. Всего получено 25 зон (доменов) разной площади. По размеру домена и величине стандартного отклонения из [3] рассчитана величина максимально возможного землетрясения.

Все полученные данные являются входными параметрами системы CRISIS 2014, которая позволяет по ряду параметров, особенно уровню затухания сейсмических воздействий, строить логическое дерево и выбирать наиболее реальные представления. В дальнейшем будут получены значения максимальных ожидаемых движений грунта для каждого домена и построена карта опасности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ассиновская Б.А. Оценка сейсмической опасности Баренцевоморского региона // Инженерные изыскания. – 2021. – Т. 15, № 1–2. – С. 76–88. – doi:10.25296/1997-8650-2021-15-1-2-76-88. – EDN: ACAADI
2. Rise L., Bellec V.K., Chand S., Boe R. Pockmarks in the southwestern Barents Sea and Finnmark fjords // Norwegian Journal of Geology. – 2015. – V. 94. – P. 263–282.
3. Assinovskaya B.A., Ovsov M.K. Seismotectonic zoning of the Finnish-Bothnia region based on the structural analysis method // Russian Journal of Earth Sciences. – 2014. – V. 14, N 2. – ES2005. – doi:10.2205/2014ES000542. – EDN: TBXLYV

СВЯЗЬ ОБВОДНЕННОСТИ СРЕДЫ И ПОВТОРЯЕМОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ХИБИНСКОМ МАССИВЕ

¹С.В. Баранов, д.ф.-м.н., ^{1,2}С.А. Жукова, к.т.н., ¹А.Ю. Моторин
¹КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты
²ГоИ КНЦ РАН, г. Апатиты

Имеются многочисленные экспериментальные и натурные данные о воздействии обводненности среды на параметры сейсмического режима в условиях природно-техногенной сейсмичности. Яркой иллюстрацией проявления такого воздействия является известный эксперимент по закачке воды в плоский сейсмически активный разлом под целиком в глубокой золотоносной шахте [1]. В результате этого эксперимента было показано, что сейсмическая подвижка была инициирована давлением воды около 20 МПа и привела к значительному переносу напряжения. Влияние гидрогеологического фактора на геомеханическое состояние массива горных пород также было выявлено при эксплуатации многих месторождений. Так, в [2] установлена связь между продолжительными дождями и слабыми землетрясениями в Баварии (летом, когда дожди чаще, сейсмическая активность существенно выше). Корреляция количества землетрясений с интенсивностью таяния снега и выпадения дождей имеет место в Западной Норвегии [3], где вызванное атмосферными осадками сезонное увеличение давления порового флюида в трещиноватой кристаллической коренной породе и изменения водной нагрузки влияют на локальную природную сейсмичность. Аналогичная картина наблюдается и в Хибинском массиве [4], где уже около века ведется разработка крупных месторождений апатит-нефелиновых руд.

Используя данные многолетних сейсмологических наблюдений и многолетнего мониторинга водопротоков, проводимых на месторождениях Хибинского массива, выявлена зависимость наклона графика повторяемости (параметр b) от уровня обводненности среды. В частности, было установлено значимое снижение значений b в период высокой обводненности в мае-июне, который характеризуется таянием выпавшего за зиму снега. В осенние месяцы значение b возрастает до уровня начала снеготаяния. Поскольку параметр b определяет повторяемость землетрясений, зависимость наклона графика повторяемости от уровня обводненности необходимо учитывать при оценке удороожности на месторождениях Хибинского массива.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-27-20125) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Board M., Rorke T., Williams G., Gay N. Fluid injection for rockburst control in deep mining // Proc. 33rd US Symp Rock Mechanics. Santa Fe N.M. 3-5 June 1992 / Tillerson and Wawersik (eds.). – Rotterdam: A.A. Balkema, 1992. – P. 111–120.
2. Hainzl S., Kraft T., Wassermann J., Igel H., Schmedes E. Evidence for rainfall-triggered earthquake activity // Geophysical Research Letters. – 2006. – V. 33. – L19303. – doi:10.1029/2006GL027642
3. Maystrenko Y.P., Brönnner M., Olesen O., Saloranta T.M., Slagstad T. Atmospheric precipitation and anomalous upper mantle in relation to intraplate seismicity in Norway // Tectonics. – 2020. – V. 39. – e2020TC006070. – doi:10.1029/2020TC006070
4. Козырев А.А., Жукова С.А., Батугин А.С. О влиянии обводненности массива на его сейсмическую активность при разработке апатитовых месторождений Хибин // Горный журнал. – 2021. – № 1. – С. 31–36. – doi:10.17580/gzh.2021.01.06. – EDN: JNCEGQ

СЕЙСМИЧНОСТЬ ДАГЕСТАНА ЗА ПЕРИОД 2017–2021 ГГ.

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

В статье рассматривается сейсмодинамика территории Дагестана, приграничных районов и акватории Каспийского моря за 2017–2021 годы. Проводится общий анализ сейсмичности по следующим параметрам: карта эпицентров, график распределения землетрясений по глубинам, карта сейсмической активности A_{10} [1]. На основе общего анализа выявлены зоны активной сейсмичности в разные годы за исследуемый период: зона 1, приграничная с Азербайджаном, активна в последние десять лет; зона 2, расположенная в прибрежной части Каспийского моря близ г. Избербаша, характеризуется стабильной сейсмической активностью с периодами в два-три года; зона 3 на границе с Чеченской Республикой характеризуется фиксацией большого количества сейсмических событий, среди которых отсутствовали события с высоким энергетическим классом. Зона активности 4 расположена в центральной части Дагестанского клина, близ города Буйнакск, где отмечено большое количество сейсмических событий с энергетическим классом $K \geq 5$, среди которых выделяется одно землетрясение с высоким энергетическим классом в 2019 году.

Все зоны, описанные выше, расположены в сейсмоактивных зонах, выявленных ранее. Вызывает интерес зона активности 4 вблизи города Буйнакск, в которой сильных землетрясений не наблюдалось несколько десятилетий. Крупнейшее землетрясение, зафиксированное в этой очаговой зоне за инструментальный период наблюдений, – это Буйнакское землетрясение 1975 года. В эпицентре тогда были зафиксированы 8-балльные сотрясения. После нескольких десятилетий молчания 24 мая 2019 г. в 22^h34^m произошло Буйнакское землетрясение-II с интенсивностью сотрясений 6 баллов. Наиболее близкими к эпицентру землетрясения были г. Буйнакск, село Халимбакаул и село Атланаул [2]. При построении графика распределения сейсмической активности за исследуемый период замечено, что активность зоны 1 идет на снижение, а активность зоны 4 в 2019 и 2021 гг. заметно повысилась. Учитывая этот факт и многолетнее молчание этой очаговой зоны, можно выделить зону 4 как ВОЗ (вероятный очаг землетрясений).

Возникновение разрушительного землетрясения в зоне 4 сопряжено с высокой вероятностью нанесения ущерба сейсмической безопасности Республики Дагестан в связи с нахождением поблизости трех городов (Буйнакск, Махачкала, Каспийск), множества сел и крупнейшего Чиркейского гидроузла.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каталог землетрясений Дагестана за 2017–2021 гг.* – Махачкала: Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2022.
2. *Асманов О.А., Адилев З.А., Батыров Т.Б.* Макросейсмические проявления Буйнакского-II землетрясения 24 мая 2019 г. с $M_S=4.3$ // Мониторинг. Наука и технологии. – 2019. – № 4 (42). – С. 21–25. – doi:10.25714/MNT.2019.42.003. – EDN: ZZWDSI

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ФОНА БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

А.Н. Беседина, Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н., П.А. Предеин, Д.П.-Д. Санжиева
ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

Глубоководная впадина бассейна озера Байкал является наиболее сейсмоактивной в Байкальской рифтовой зоне. За последние 160 лет в центральной части Байкальского рифта произошло порядка двух десятков сильнейших землетрясений магнитудой 5 и выше, в т.ч. несколько катастрофических. В настоящее время территория сохраняет высокую сейсмическую и тектоническую активность, о чем свидетельствуют сильнейшие землетрясения 2020 года. Такая высокая степень сейсмической активности территории определяет актуальность комплексного исследования данных долговременного сейсмологического мониторинга, который будет включать как анализ геологических особенностей рассматриваемой области, так и пространственно-временной анализ компонент микросейсмического фона, в том числе с помощью кросскорреляционного анализа.

На протяжении последних десятилетий метод зарекомендовал себя как эффективный способ изучения структуры Земли в различных масштабах. Подобный подход использовался при исследовании, например, низкоскоростных и высокоскоростных аномалий в одной из разломных зон Калифорнии [1, 2], структуры земной коры в районе Центральной Мексики [3] и на Кавказе [4].

На основе данных долговременных наблюдений Селенгинской локальной сейсмической сети проведено исследование особенностей распределения источников шума, выделены поверхностные волны, присутствующие в сейсмическом шуме. При использовании корреляционных методов анализа шума сейсмический шум рассматривается как волновое поле, образованное произвольными, равномерно распределенными источниками, усредненными по большому интервалу времени. В этом случае кросскорреляционная функция шума между двумя станциями описывает функцию Грина среды между точками–приемниками. Для расчета функции источника использовался алгоритм, предложенный в [5]. Полученные результаты сопоставлены с вероятностной моделью микросейсмического шума для исследуемой области.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-27-20066) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Shapiro N., Campillo M., Stehly L., Ritzwoller M.* High resolution surface wave. Tomography from ambient seismic noise // *Science*. – 2005. – V. 307, Is. 5715. – P. 1615–1618. – doi:10.1126/science.1108339
2. *Campillo M., Paul A.* Long-range correlations in the diffuse seismic coda // *Science*. – 2003. – V. 299, Is. 5606. – P. 547–549. – doi:10.1126/science.1078551
3. *Campillo M., Roux P., Shapiro N.M.* Correlation of seismic ambient noise to image and to monitor the solid Earth // *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics* / Ed. H.K. Gupta. – Springer Science+Business Media B.V., 2011. – doi:10.1007/978-90-481-8702-7
4. *Королева Т.Ю.* Карты распределения скоростей волн Релея на территории Кавказа по данным кавказской сети CNET // *Российский сейсмологический журнал*. – 2020. – Т. 2, № 3. – С. 70–77. – doi:10.35540/2686-7907.2020.3.06. – EDN: XGRGEF
5. *Bensen G.D., Ritzwoller M.H., Barmin M.P., Levshin A.L., Lin F., Moschetti M.P., Shapiro N.M., Yang Y.* Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements // *Geophysical Journal International*. – 2007. – V. 169 (3). – P. 1239–1260. – doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03374.x

АКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА И СЕВЕРНЫХ КУРИЛ

Д.И. Будилов, Е.О. Макаров, к.ф.-м.н., А.А. Шакирова
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

На полуострове Камчатка часто возникают такие природные явления, как циклоны, извержения вулканов, сильные землетрясения, во время которых генерируются акустические волны. В связи с этим с 1970-х гг. начали проводиться систематические работы по изучению акустических сигналов (АС) в атмосфере. Как показал многолетний опыт регистрации АС, связанных с активностью вулканов, их параметры дают представление о динамике извержений и указывают на характер излияния магмы на дневную поверхность. Были разработаны основные положения научного направления «акустика вулканических извержений» и показано, что, наряду с традиционной сейсмологией, атмосферная акустика может служить еще одним дистанционным методом для мониторинга активности вулканических извержений [1].

Благодаря аномальному распространению звука в атмосфере, в ходе которого звуковой луч, исходящий от источника, многократно отражается от верхних слоев атмосферы и поверхности Земли, можно осуществлять мониторинг вулканических извержений на расстоянии до нескольких тысяч километров [2]. В настоящее время инфразвуковая система мониторинга в рамках режима соблюдения Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) состоит из более 60 инфразвуковых станций, распределенных по поверхности земного шара, что позволяет осуществлять мониторинг сильных энергетических процессов в атмосфере на глобальном уровне. Одна из станций расположена на Камчатке в пос. Начики (IS44), что позволяет вести мониторинг сильных эксплозивных извержений вулканов Камчатки и Северных Курил.

В последние десятилетия исследованию процессов генерации и распространения инфразвуковых волн от извержений вулканов уделяется большое внимание во многих районах мира, где происходят вулканические извержения [3, 4]. Этому способствуют сеть инфразвуковых станций ДВЗЯИ и бурное развитие инфразвукового метода в рамках национальных программ многих государств.

В работе представлены результаты акустических наблюдений за активностью вулканов полуострова Камчатка и Северных Курил, осуществляемых Лабораторией акустического и радонового мониторинга Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Компанеец А.С.* Законы физической статики. Ударные волны. Сверх вещество. – М.: Наука, 1976. – С. 233–288.
2. *Куличков С.Н.* Дальнее распространение звука в атмосфере (обзор) // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 1992. – Т. 28, № 4. – С. 339–360.
3. *Fee D., Arnould K., Olson J., Szuderla C., et al.* Infrasound observations of the 2008 explosive eruptions of Okmok and Kasatochi volcanoes, Alaska // Journal of Geophysical Research. – 2010. – V. 115. – P. 1–12.
4. *Williams R.A., Perttu A., Taisne B.* Processing of volcano infrasound using film sound audio post-production techniques to improve signal detection via array processing // Geoscience Letters. – 2020. – V. 7 (1). – Article number 9. – doi:10.1186/s40562-020-00158-4

МАЖОРАНТНЫЕ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ОПРЕДЕЛЕНИИ τ_0 И V_P/V_S ПО ГРАФИКУ ВАДАТИ

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

Для определения координат гипоцентров землетрясений необходимо знать время возникновения землетрясения, или «время в очаге» τ_0 . На практике время в очаге определяется или одновременно с определением координат гипоцентра путем минимизации функционала невязки наблюдаемых и теоретических времен прихода сейсмических волн, или путем решения системы нелинейных уравнений, связывающих координаты сейсмических станций и гипоцентра землетрясения и время в очаге, или, для близких землетрясений, по графику Вадати. Если время в очаге определяется по графику Вадати, то задача определения координат гипоцентров становится более устойчивой, чем в случае, когда определяются одновременно координаты гипоцентра и время в очаге [1].

Делаются два основных вывода. Первый из них заключается в том, что для определения времени в очаге по графику Вадати имеет смысл зафиксировать наклон графика. Значение этого наклона можно определить как среднее значение наклонов совокупности графиков, как это сделано, например, в [2–4]. Если определять время в очаге, строя график Вадати для каждого события и определяя одновременно τ_0 , то ошибки в определении τ_0 и, следовательно, в определении гипоцентра могут быть значительными. Если же мы фиксируем наклон графика Вадати, точность определения гипоцентров землетрясений значительно повышается.

Второй вывод, который можно сделать, рассматривая погрешности в определении наклона графика Вадати или отношения скоростей продольных и поперечных волн, это то, что определение изменения наклона графика во времени для конкретного сейсмоактивного района становится весьма проблематичным. Как показано выше, погрешности в определении наклона графика могут быть сравнимы с вариациями наклона, связанными с изменением напряженного состояния упругой среды в регионе.

Следует также заметить, что численные значения оценок в определении времени в очаге τ_0 и наклона графика Вадати или V_P/V_S получены для минимальных значений погрешностей в определении времен прихода сейсмических волн, которые не превышают 0.1 с. В действительности погрешности в определении времен прихода сейсмических волн могут быть в несколько раз больше, соответственно и ошибки в определении τ_0 и V_P/V_S также могут быть в несколько раз больше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмин В.Ю. Некоторые обратные кинематические задачи сейсмологии. Теория, эксперименты, результаты. – М.: Наука, 2019. – 276 с.
2. Бурмин В.Ю., Шумлянская Л.А. Современная сейсмичность Крыма // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42, № 2. – С. 5–16. – EDN: TYMJBT
3. Бурмин В.Ю., Шумлянская Л.А. К вопросу о глубоких землетрясениях Крымско-Черноморского региона // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2017. – Т. 44, № 3. – С. 83–94. – doi:10.21455/VIS2017.3-5. – EDN: ZGCODET
4. Бурмин В.Ю., Шемелева И.Б., Флейфель Л.Д., Аветисян А.М., Казарян К.С. Пространственное распределение коровых землетрясений Кавказа // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 45, № 1. – С. 39–48. – doi:10.21455/VIS2018.1-4. – EDN: XQKIKT

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ КАРЕЛИИ

¹В.Ю. Бурмин, д.ф.-м.н., ²И.А. Зуева

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

За прошедшие два десятка лет на территории Карелии регистрируются землетрясения с магнитудой не более 3.2. Очаги возникают в основном на севере региона – в Лоухском и Калевальском районах. Причинами природных событий на таких равнинных территориях, как Карелия, являются зоны активных разломов. Однако по историческим данным установлено, что в западной части Фенноскандинавского щита землетрясения происходили с интенсивностью 7, и даже 8 баллов. По данным Карельской сейсмической сети и сейсмических станций соседних регионов, за период наблюдений 2000–2022 гг. на территории Карелии магнитуда зарегистрированных событий не превысила значение 3.2. Самое сильное землетрясение в пределах региона с магнитудой 3.2 произошло в 2001 г. в Лоухском районе. Землетрясения происходят в земной коре на глубине 1–30 км. Однако наиболее частыми сейсмическими событиями на записях Карельской сейсмической сети являются промышленные взрывы.

Стационарные сейсмологические пункты наблюдений располагаются в разных районах Карелии. С 2000 г. в Петрозаводске функционирует станция PTRZ. В Костомукшском районе действуют две станции – KOST и KOS6. Станция PITK находится в поселке Лепясилта Питкярантского района. В 2016 г. на территории Лоухского района установлена станция PAAN. Сейсмическая сеть Карелии оснащена современным цифровым широкополосным оборудованием и позволяет охватить сейсмологическим мониторингом обширную зону. Сейсмостанции обеспечивают регистрацию сейсмических событий в широком диапазоне частот от 0.033 до 50 Гц.

В представленном докладе приведены оценки эффективности современной Карельской сети сейсмологических наблюдений, состоящей из семи станций. Под эффективностью сейсмологической сети наблюдений мы подразумеваем способность сети регистрировать события с минимальными магнитудами и определять их основные параметры (время в очаге и координаты гипоцентров) [1]. Расчет минимальных магнитуд землетрясений для Карельской сейсмологической сети показывает, что на всей территории Карелии сеть уверенно регистрирует землетрясения с магнитудой 3 и больше. При этом анализ сейсмических шумов под станциями показывает, что амплитуда микросейсм составляет 0.2 мкм, что, в свою очередь, ограничивает максимальное увеличение каналов станций $V_m=5000$.

Проведены расчеты распределения ошибок в определении широты, долготы и глубины для сети сейсмических станций, расположенных в Карелии. Расчеты проводились для источника с глубиной 10 км в предположении, что эпицентры землетрясений распределены непрерывно по всей рассматриваемой территории. В качестве погрешностей в определении времени пробега сейсмических волн было взято значение 0.1 с, а погрешность в задании скоростей распространения сейсмических волн – 0.1 км/с. Результаты расчетов выдаются в виде изолиний максимальных погрешностей в определении широты, долготы и глубины землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмин В.Ю. Некоторые обратные кинематические задачи сейсмологии. Теория, эксперименты, результаты. – М.: Наука, 2019. – 276 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ ФИЦ ЕГС РАН

П.Г. Бутырин, к.т.н., Л.Г. Дуленцова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Официальное открытие Центральной геофизической обсерватории в г. Обнинске состоялось в мае 1967 года. В это же время руководством было принято решение о создании Центра сбора данных сейсмической сети и обработки информации в оперативном режиме. В 1971 г. в обсерватории начались работы по сводной обработке землетрясений земного шара с выпуском Оперативных сейсмологических каталогов и бюллетеней.

В настоящее время в Федеральном исследовательском центре «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (г. Обнинск) производится сбор и сводная обработка данных о землетрясениях, произошедших на территории России, СНГ и мира, результаты публикуются в ежедекадных Сейсмологических каталогах и Сейсмологических бюллетенях. Сейсмологические бюллетени ФИЦ ЕГС РАН содержат:

- основные параметры очагов землетрясений (время в очаге, координаты гипоцентров, магнитуда) с определенного магнитудного уровня M (MS или $MPSP$) [1] в зависимости от региона (для территории России – с $M \geq 4$, для территории Северной Евразии – с $M \geq 4.5$, для остальной территории мира – с $M \geq 5.5$);
- станционные данные о землетрясениях;
- динамические параметры (механизм очага и сейсмический момент) сильных землетрясений.

Координаты гипоцентра и время возникновения землетрясения определяются по программе ЭПИ-74 [2]. В среднем ежегодно обрабатывается более 3000 землетрясений.

В 2021 г. в Центральном отделении (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН была запущена в опытную эксплуатацию «Единая система доступа к геофизическим данным», включающая оперативный сбор цифровых записей станций отечественной и мировой сети. В этом проекте предусмотрена оперативная обработка данных на платформе SeisComp. Предполагается использование программы LocSat для локации гипоцентров и расчет стандартных магнитуд, рекомендованных Международной магнитудной группой IASPEI. Методики сводной обработки в SeisComp также предполагают использование утилит huro и WSG. Результаты обработки будут публиковаться сервисами FDSNWS, а также на основной веб-странице ЦО ФИЦ ЕГС РАН в формате ISF. Предполагается высокий уровень автоматизации при выполнении рассылки результатов сводной обработки. Внедрение новых методик для производства каталогов и бюллетеней позволит сократить время отставания между выпуском оперативных и сводных результатов обработки.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванек И., Затопек А., Карник В. и др. Стандартизация шкал магнитуд // Известия Академии наук СССР. Серия геофизическая. – 1962. – № 2. – С. 153–158.
2. Епифанский А.Г. Определение параметров гипоцентров и магнитуд землетрясений в телесейсмической зоне (ЭПИ-74) // Алгоритмы и практика определения параметров гипоцентров землетрясений на ЭВМ. – М.: Наука, 1983. – С. 92–97.

СЕРВИС ДОСТУПА К ЦИФРОВЫМ ОБРАЗАМ АНАЛОГОВЫХ СЕЙСМОГРАММ

П.Г. Бутырин, к.т.н., А.В. Иванова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В течение XX в. сейсмологические наблюдения развивались быстро, но систематично. Сеть сейсмических станций, организованная Б.Б. Голицыным, начала действовать на территории России с 1914 г. [1]. За более чем 100 лет накоплено более 1 млн сейсмограмм. В свое время эти записи обрабатывались при помощи линейки, однако с приходом цифровых технологий появилась возможность производить более глубокую обработку как вступлений, так и состава сейсмических сигналов. В некоторых случаях можно говорить о спектральном анализе. Все это возможно только после сканирования и оцифровки лент аналоговых сейсмограмм [2]. Процесс оцифровки очень трудоемок и связан с оперативной субъективностью или квалификацией специалиста-оцифровщика. Таким образом, в первую очередь предполагается предоставлять потенциальным исследователям цифровые образы аналоговых сейсмограмм или сканы.

В ФИЦ ЕГС РАН сканирование производится с 1997 года. За это время накоплено около 200 тыс. сканов, которые хранятся как в системах быстрого доступа (сетевые файловые хранилища), так и на CD-, DVD-дисках и ленточных носителях. Хранение предусматривает одновременную поддержку трех копий на носителях различной природы. Данные о файлах-сканах, а также дополнительная информация со штампов аналоговых сейсмограмм заносятся в специальную базу данных в ЦО ФИЦ ЕГС РАН.

Технология публикации сканов основана на работе сервисов стека FDSN (International Federation of Digital Seismograph Networks), когда при помощи веб-формы можно получить фрагменты волновых форм, данные по сейсмическим станциям или каталоги (бюллетени) событий.

Сканы также можно получить, указывая диапазон дат, имя станции и другую контекстную информацию. Развитие проекта предусматривает получение не только образов, но и метаданных станций, актуальных для времени запроса. Использование цифровой обработки аналоговых записей исторических землетрясений является основой для широкого спектра геофизических исследований.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев А.В., Сидорин А.Я. Основоположник современной сейсмологии Борис Борисович Голицын (1862–1916 гг.): к 150-летию со дня рождения // Вестник Отделения наук о Земле РАН. – 2012. – Т. 4. – NZ6001. – doi:10.2205/2012NZ000114. – EDN: XHMKYN
2. 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:10.35540/2686-7907.2022.1.02. – EDN: USPAUB

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ЗОНЕ ОСЕДАНИЙ НАД ГОРНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

А.В. Верхоланцев
«ГИ УрО РАН», г. Пермь

В случае возникновения угрозы механической безопасности здания (сооружения) необходим оперативный контроль технического состояния объекта для своевременного принятия соответствующих мер. Согласно п. 5.1.5 из [1], в случае аварийного состояния конструкций (грунтовых оснований) устанавливается обязательный режим мониторинга технического состояния. Одним из контролируемых параметров является частота (период) основного тона собственных колебаний, изменение которого между сериями наблюдения (или в течение мониторинга) свидетельствует об изменении динамических и жесткостных характеристик исследуемого объекта.

Исследуемый объект представляет собой 5-подъездный пятиэтажный жилой дом 1988 г. постройки, расположенный в зоне неравномерных сдвижений земной поверхности, связанных с ведением горных работ. С сентября 2020 г. на объекте ведется непрерывный мониторинг изменения собственной (резонансной) частоты с помощью станции, входящей в состав сети сейсмологического мониторинга охраняемой территории. Обработка и анализ данных осуществляются с помощью различного программного обеспечения, а также набора программ и скриптов собственной разработки «ГИ УрО РАН». Удаленный мониторинг и сбор телеметрии всего комплекса оборудования и программного обеспечения выполняются системой мониторинга Zabbix и набором скриптов также собственной разработки, выполненных в основном на языках PHP и Bash [2].

С целью минимизации влияния посторонних помех спектральный анализ выполнялся по «ночным» данным сейсмической станции (01:00–05:00 местного времени). Частотный диапазон для расчета составил 1–10 Гц. Компонента, направленная вдоль здания, характеризуется собственной (резонансной) частотой 2.88 Гц. Компонента, направленная поперек здания, характеризуется собственной (резонансной) частотой 4.10 Гц. Данные, полученные по вертикальной компоненте, позволяют подтвердить выводы о преобладании гармоник 2.88 и 4.10 Гц. Обе эти частоты находятся в пределах нормы согласно справочным данным, приведенным в [3]. Небольшие вариации наблюдаются для гармоники 2.88 Гц. Колебания значений ее частоты находятся в диапазоне от 2.84 до 2.90 Гц, что составляет около 2%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.* – Введ. 2014-01-01. – М., 2014. – 60 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100941>
2. *Верхоланцев А.В., Цветков Р.В., Мурыськин А.С., Пятков Д.С.* Реализация деформационно-сейсмического мониторинга технического состояния жилого здания, находящегося в зоне оседаний над горными выработками // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2021. – Т. 48, № 3. – С. 60–73. – doi:10.21455/VIS2021.3-3. – EDN: KDTNBE
3. *ГОСТ 34081-2017. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний.* – Введ. 2017-11-01. – М., 2017. – 19 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157292>

СЕЙСМИЧНОСТЬ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА ЗА ПЕРИОД С 2002 ПО 2022 Г. ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ УРАЛЬСКОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ

^{1,2}Ф.Г. Верхоланцев, ^{1,2}И.В. Голубева

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

²«ГИ УрО РАН», г. Пермь

Урал представляет собой субмеридиональную линейную складчатую систему, разделяющую Восточно-Европейскую и Западно-Сибирскую платформы, и в сейсмическом отношении является относительно слабо сейсмоактивным регионом. Сейсмичность Урала имеет комплексный природно-техногенный характер. Интенсивное освоение месторождений минерального сырья привело к тому, что к тектоническим землетрясениям, обусловленным сложным геологическим строением и современными движениями земной коры, добавилась техногенная составляющая, проявляющаяся в виде горных и горно-тектонических ударов. Весомый вклад, сопоставимый по выделенной сейсмической энергии с природными и природно-техногенными землетрясениями, в сейсмический поток вносят промышленные взрывы на горнодобывающих предприятиях. С 1999 г. на территории региона развивается и постоянно совершенствуется Уральская региональная сейсмологическая сеть, которая в настоящее время насчитывает 14 цифровых сейсмических станций, пять из которых – широкополосные [1]. Начиная с 2002 г., количество станций сети стало обеспечивать представительную регистрацию различных типов событий [2] не только в пределах собственно Урала, но и востока европейской части России.

В работе представлен большой объем новых сведений о сейсмическом режиме Уральского региона и прилегающих к нему территорий. По инструментальным данным подтверждены ранее выделенные на основе исторических каталогов сейсмически активные зоны. Высокоразрешающий региональный сейсмологический мониторинг позволил добавить к ним новые зоны, изучить и установить их природу. Для многих тектонических событий характерна пространственная структурированность в связи с их приуроченностью к основной тектонической структуре региона – Главному Уральскому надвигу.

Одним из важных результатов 20 лет сейсмологического мониторинга является получение в аналитическом виде графика повторяемости для Уральского региона на основе инструментального каталога в широком интервале представительных магнитуд – 2.0÷5.5:

$$\lg N = 2.15 - 0.69 \cdot ML. \quad (1)$$

Большое количество инструментальных данных дало возможность получить эмпирическую зависимость между магнитудой ML и классом по Т.Г. Раутиан K_p непосредственно для Уральского региона:

$$K_p = 1.77 \cdot ML + 3.61. \quad (2)$$

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г., Верхоланцев Ф.Г. Четырехуровневая система сейсмического мониторинга на территории Среднего Урала // Геофизика. – 2011. – № 5. – С. 8–17. – EDN: SAVLKJ
2. Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Дягилев Р.А. Сейсмичность Уральского региона за период с 2002 по 2013 год по данным инструментальных наблюдений Уральской сейсмической сети // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 94–98. – EDN: SSTCAR

СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ СЕЙМОГЕННОЙ АКТИВИЗАЦИЕЙ ЧИЛИЙСКОЙ СУБДУКЦИОННОЙ ЗОНЫ В НАЧАЛЕ ХХІ В.

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

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²МФТИ, г. Долгопрудный

В начале ХХІ в. Чилийская субдукционная зона вошла в стадию чрезвычайно высокой сейсмогенной активизации. Всплеск сейсмогенеза начался с землетрясения Мауле 2010 г. с $M_w=8.8$ и продолжился в 2014–2015 гг. событиями Икике и Ильяпель с $M_w=8.1$ и 8.3 соответственно [1]. Подобные разрушительные землетрясения, возникающие в пределах зон субдукции, помимо непосредственно макросейсмических эффектов, несут в себе угрозу возникновения волн цунами. Поэтому одной из важнейших задач как геодинамики, так и сейсмологии является изучение особенностей сейсмического процесса именно в субдукционных регионах. При этом важно как установить закономерности генерации сильнейших сейсмических событий в субдукционных регионах, так и выявить геолого-тектоническую обусловленность возникновения очаговых зон таких событий в том или ином сегменте субдукционной зоны.

С этой целью в работе был проведен анализ пространственно-временного развития сеймотектонических деформаций, вызванных землетрясениями Мауле, Икике и Ильяпель. Для изучения локальных особенностей процессов накопления и высвобождения упругих напряжений для каждого из трех событий были построены модели распределения степени механического сцепления вдоль поверхности разрыва, распределенной косейсмической подвижки в очаге и постсейсмического крипа в окрестности очаговой зоны. Результаты проведенного исследования показали, что, несмотря на близость магнитуд и подобие механизмов очагов трех сильнейших субдукционных землетрясений начала ХХІ в. в Чилийской зоне субдукции, отмечаются существенные различия в особенностях протекания сейсмических циклов, связанных с этими событиями. Выявленные отличия, вероятно, определяются уникальными геолого-тектоническими условиями, присущими очаговой зоне конкретного сильного землетрясения.

Помимо изучения динамики сейсмического процесса в целом в задачи исследования входило выявление возможной взаимосвязи сильных землетрясений, происходящих на больших расстояниях [2, 3]. Проведенный расчет переноса кулоновских напряжений вследствие землетрясения Мауле 2010 г. показал, что это событие могло оказать решающее влияние на последней стадии формирования очаговой зоны землетрясения Ильяпель 2015 г., поспособствовав его инициации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-17-00140).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ruiz S.A., Madariaga R.* Historical and recent large megathrust earthquakes in Chile // *Tectonophysics*. – 2018. – V. 733. – P. 37–56. – doi:10.1016/j.tecto.2018.01.015
2. *Николаев А.В., Верещагина Г.М.* Об иницировании землетрясений землетрясениями // Доклады Академии наук СССР. – 1991. – Т. 318, № 2. – С. 320–324.
3. *Кальметьева З.А., Юдахин Ф.Н.* Взаимосвязь сильных землетрясений Высокой Азии // Доклады Академии наук. – 1994. – Т. 335, № 2. – С. 225–231.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯПОНО-КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ С КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРОЙ ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

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

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²МФТИ, г. Долгопрудный

Восточная Азия является обширным регионом, включающим в себя как материковые области, так и активную континентальную окраину. Сейсмическая и тектоническая активность Восточной Азии характеризуется значительной неоднородностью, что обусловлено сложным тектоническим строением региона. Исследования региональных геодинамических процессов необходимы для решения как фундаментальных, так и прикладных задач сейсмологии, геофизики и геодинамики, таких как прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмическое районирование.

В настоящее время одним из наиболее распространенных методов исследования геодинамических процессов является анализ данных спутниковой геодезии [1]. Данные спутниковой геодезии, отражающие современные движения земной поверхности региона, демонстрируют существенную изменчивость по величине и направлению как вдоль простирания островодужных окраин, так и вглубь континента.

В работе рассматриваются различные подходы к объяснению наблюдающихся современных движений земной поверхности. В частности, представлена концепция, включающая в себя модель верхнемантийной конвективной ячейки, развивающейся под континентальной литосферой, в сочетании с клавишно-блоковой моделью, объясняющей закономерности сейсмического цикла в островодужных окраинах [2]. Показано, что учет взаимодействия литосферы и верхней мантии в зоне перехода континент–океан позволяет в рамках модели нестационарной конвективной ячейки объяснить наблюдающиеся на удалении до 2000 км современные движения земной поверхности и данные сейсмической томографии.

В рамках представленного подхода находят естественное обоснование наблюдаемые методами спутниковой геодезии кажущиеся парадоксальными особенности регионального поля скоростей современных движений земной поверхности, связанные с существенной вариацией скоростей движения вдоль континентальной окраины и резкими изменениями направлений движений в ходе сейсмического цикла, а также значительными градиентами поля скоростей в задуговых бассейнах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-17-00140).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sankov V.A., Lukhnev A.V., Miroshnitchenko A.I., Dobrynina A.A., Ashurkov S.V., Byzov L.M., Dembelov M.G., Calais E., Déverchère J.* Contemporary horizontal movements and seismicity of the South Baikal basin (Baikal rift system) // *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. – 2014. – V. 50, N 6. – P. 785–794. – doi:10.1134/S106935131406007X. – EDN: UFUOLJ
2. *Lobkovsky L., Gabsatarov Yu., Alekseev D., Vladimirova I., Ramazanov M., Kotelkin V.* Geodynamic model of the interaction between the continental lithosphere and the active continental margin in East Asia // *Russian Journal of Earth Sciences*. – 2022. – V. 22, N 1. – doi:10.2205/2022ES000787

ДОБРОТНОСТЬ СРЕДЫ В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

¹И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н., ²А.С. Зверева, ¹Е.А. Бабкова

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

Затухание сейсмических волн в реальной среде является одним из основных физических параметров, тесно связанных с сейсмичностью и строением среды конкретной местности. Оно связано с безразмерной величиной, называемой добротностью среды Q . Значение частотно-зависимой добротности $Q(f)$ непосредственно используется в определении скалярного сейсмического момента M_0 по спектрам сейсмических волн и спектральной магнитуды Канамори M_w , что важно для оценки очаговых параметров землетрясений и современных оценок опасности территорий. В работе детально рассмотрены вопросы затухания S -волн в среде Западного и Восточного Кавказа. Для этого использован метод кода-волн и программное обеспечение SEISAN [1]. Проведено сравнение полученных оценок между районами Северного Кавказа с известными значениями добротности в других районах мира с подобными или иными тектоническими условиями.

Для оценки добротности в западной зоне использовались данные 17 сейсмических станций сети ФИЦ ЕГС РАН, в расчете участвовали 316 землетрясений, зарегистрированных в период 2013–2021 гг., с $ML=1.8-4.9$ и глубинами $h=3-25$ км. Средние значения Q_c рассчитывались на частотах 1, 2, 4, 8 и 16 Гц на основе всех записей. С помощью частотно-зависимой степенной аппроксимации на каждой сеймостанции получено соотношение $Q_c=Q_0 \cdot f^\alpha$. Получено среднее частотно-зависимое соотношение Q для территории Северо-Западного Кавказа, которое имеет вид $Q_c=71 \pm 14 \cdot f^{0.99 \pm 0.1}$ для геометрического расхождения $\beta=0.5$ и $Q_c=91 \pm 21 \cdot f^{1.0 \pm 0.12}$ – для $\beta=1.0$.

Для восточной зоны использовались данные 182 землетрясений за 2005–2021 гг. с $K_r=9-14$ с коровыми ($h \leq 70$ км) и промежуточными глубинами очагов ($h > 70$ км), записанные 46 станциями. Все они произошли в Терско-каспийском прогибе и сопредельных районах Дагестанского клина. Получены значения $Q(f)$ по землетрясениям с коровыми глубинами: $Q_c=77 \pm 15 \cdot f^{0.89 \pm 0.10}$ – для геометрического расхождения $\beta=0.5$; $Q_c=97 \pm 22 \cdot f^{0.89 \pm 0.11}$ – для $\beta=1.0$. Для очагов с промежуточными глубинами в интервале $70 \leq h \leq 120$ км $\beta=1.0$ $Q_c=122 \pm 22 \cdot f^{1.03 \pm 0.07}$, в интервале $121 \leq h \leq 170$ км – $Q_c=143 \pm 32 \cdot f^{0.91 \pm 0.13}$. Однако для заглубленных очагов полученные значения можно отнести к предварительным оценкам из-за небольшого числа рассмотренных землетрясений ($N=23$).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Havskov J., Sørensen M.B., Vales D., Özyazıcıoğlu M., Sánchez G., Li B. Coda Q in different tectonic areas, influence of processing parameters // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2016. – V. 106, Is. 3. – P. 956–970. – doi:10.1785/0120150359

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ В СЛУЖБЕ СРОЧНЫХ ДОНЕСЕНИЙ

А.М. Гаджиев, А.В. Алиева
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

В связи с поставленной задачей о необходимости автоматизации процесса информирования населения о произошедших сейсмических событиях, считаем целесообразным инициировать разработку соответствующей программной утилиты.

Функциональная особенность утилиты заключается в автоматической и своевременной пересылке данных произошедших сейсмических событий, генерируемых программным комплексом WSG v5.578 в текстовом формате, в формат базы данных MySQL с последующим текстовым и графическим отображением на странице сайта ДФ ФИЦ ЕГС РАН.

Для реализации бесперебойной и качественной работы утилиты используются компоненты прямого быстрого доступа к серверам MySQL и библиотеке программной среды разработки, а также свободное программное обеспечение.

Следует отметить, что в целях достижения максимальной независимости от функционала используемых freeware-компонентов нами исследуется возможность разработки собственного программного продукта [1]. При этом необходимо точно определить набор компонентов, взаимодействующих с файлами программного продукта, для их последующей замены в программном коде.

Также нами рассматривается возможность интеграции собственного программного обеспечения с системой мониторинга Zabbix (основанной на UNIX системах), используемой для качественного отслеживания состояния разрабатываемой утилиты, и отправку уведомлений о сейсмических событиях на электронную почту администраторов и разработчиков как на стадии тестирования, так и на стадии внедрения [2]. Zabbix-агенты являются чрезвычайно эффективными из-за использования специфических системных вызовов для сбора информации, контроля локальных ресурсов и подготовки статистики. При этом тестируется обновление версии Zabbix 5.4 с целью улучшения и модернизации системы. Основное изменение новой версии включает внедрение синтаксиса для всех триггеров, вычисляемых и агрегированных исследований (процедур). Новый синтаксис не будет ограничивать использование хостов, будет поддерживать тэги, таким образом упрощая агрегацию метрик и улучшая мониторинг кластерных систем.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арсеньев Б.П., Яковлев С.А.* Интеграция распределенных баз данных. – М.: Издательство «Лань», 2001. – 464 с.
2. *ZABBIX software* // ZABBIX [Site]. – URL: <https://www.zabbix.com/license>

СОСТАВЛЕНИЕ СВОДНОГО КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

^{1,2}А.Д. Гвишиани, акад. РАН, ^{1,3}И.А. Воробьева, к.ф.-м.н.,
^{1,3}П.Н. Шебалин, чл.-корр. РАН, ¹Б.А. Дзобоев, д.ф.-м.н.,
¹Б.В. Дзеранов, к.г.-м.н., ^{1,3}А.А. Скоркина, к.ф.-м.н.
¹ГЦ РАН, г. Москва
²ИФЗ РАН, г. Москва
³ИТПЗ РАН, г. Москва

Как известно, восточный сектор арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) является сейсмически активным регионом. В его пределах могут возникать достаточно сильные землетрясения (например, Олюторское землетрясение 20.04.2006 г. с $M=7.6$, Илин-Тасское (Абыйское) землетрясение 14.02.2013 г. с $M=6.6$ и др.).

Сегодня сейсмологический мониторинг АЗРФ осуществляется региональными филиалами ФИЦ ЕГС РАН. В восточной части Российской Арктики эту работу осуществляют Якутский, Магаданский и, частично, Камчатский филиалы ФИЦ ЕГС РАН. Также подробную информацию о землетрясениях можно найти в сводном каталоге Международного сейсмологического центра (ISC), который объединяет данные целого ряда глобальных и национальных сейсмологических сетей. Заметим, что сравнительный анализ каталогов показал, что для восточного сектора АЗРФ в каталоге ISC отсутствует целый ряд событий, информация о которых имеется в региональных каталогах ФИЦ ЕГС РАН [1].

Для создания унифицированного каталога землетрясений восточного сектора АЗРФ были решены следующие основные задачи: (1) последовательное объединение трех региональных каталогов ФИЦ ЕГС РАН и каталога ISC, предполагающее идентификацию дублированных событий [2] в пограничных зонах ответственности разных сетей; (2) унификация оценок магнитуд в объединенном каталоге путем построения регрессионных соотношений разных типов магнитуды/энергетического класса, благодаря точной ассоциации данных разных каталогов, относящихся к одному и тому же событию.

Итоговый каталог восточного сектора Российской Арктики содержит информацию о 23254 сейсмических событиях [3] за период 1962–2020 гг., из которых 7781 событие – из ISC и 15473 события – из каталогов ФИЦ ЕГС РАН. Объединенный каталог выложен в открытый доступ на сайте Мирового центра данных по физике твердой Земли [4].

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 21-77-30010) в Геофизическом центре РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – 376 с.
2. *Vorobieva I., Gvishiani A., Dzeboev B., Dzeranov B., Barykina Y., Antipova A.* Nearest neighbor method for discriminating aftershocks and duplicates when merging earthquake catalogs // *Frontiers in Earth Science*. – 2022. – V. 10. – P. 820277. – doi:10.3389/feart.2022.820277
3. *Gvishiani A., Vorobieva I., Shebalin P., Dzeboev B., Dzeranov B., Skorkina A.* Integrated earthquake catalog of the eastern sector of the Russian Arctic // *Applied Sciences*. – 2022. – V. 12, Is. 10. – P. 5010. – doi:10.3390/app12105010
4. *Арктика. Сейсмологические данные. Каталог землетрясений восточного сектора Арктической зоны Российской Федерации* // Мировой центр данных по физике твердой Земли. Геофизический центр РАН [сайт]. – URL: http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/arctic_seism.ru.html (дата обращения 04.04.2022).

ФАКТИЧЕСКАЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Н.А. Гилёва, М.А. Хритова, к.т.н.
БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Байкальская рифтовая зона (БРЗ), как известно, характеризуется высокой сейсмической активностью. Ежегодно здесь регистрируется в среднем более 10 тыс. землетрясений различного энергетического уровня. Представительность этих сейсмических событий имеет важное значение при оценке сейсмической опасности рассматриваемой территории и различных геодинамических построениях. Следует отметить, что значения рассчитанной (теоретической) и наблюдаемой (фактической) представительности могут различаться [1], что необходимо учитывать при анализе искомого параметра.

Условия регистрации землетрясений сетью цифровых сейсмических станций (расстановка, чувствительность, непрерывность работы) с 2002 г. по настоящее время менялись незначительно, что позволяет рассчитать фактическую представительность в каждом из районов БРЗ [2] за определенные длительные периоды времени. Срок работы временных локальных сетей исключался из рассмотрения. Основываясь на линейности графика повторяемости, согласно закону Гутенберга-Рихтера, представительность можно определить как нижнюю границу линейного участка графика повторяемости K_r . Для расчетов использовались индивидуальные значения угла наклона графика γ для четырех районов БРЗ, полученные для дифференциального графика повторяемости по заведомо представительным энергетическим классам землетрясений K_r за длительный период времени (от $\gamma = -0.47 \pm 0.01$ до $\gamma = -0.51 \pm 0.01$). Расчет осуществлялся для элементарных площадок величиной $\phi = 0.4^\circ$ и $\lambda = 0.6^\circ$ с перекрытием на четверть их размера. Среднее число событий в ячейке ($K_r > 5.6$) варьировалось для разных районов от $N_{cp} = 300$ до $N_{cp} = 1100$.

В результате получена детальная карта фактической представительности землетрясений в БРЗ, из которой следует, что практически для всей ее территории (96%) представительны события с $K_r \geq 6.6$. Следует отметить, что в отдельных районах БРЗ уровень представительности ниже (с $K_r \geq 6.0 - 6.2$). При сравнении юго-западных и северо-восточных районов БРЗ в последних отмечается ухудшение представительности регистрации сейсмических событий из-за меньшего количества сейсмостанций.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>), а также при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-05-00823).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Салтыков В.А.* О возможных проблемах оценки пространственно-временных особенностей представительности каталога землетрясений (на примере Камчатского каталога Единой геофизической службы РАН) // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2019. – № 3 (43). – С. 66–74. – doi:10.31431/1816-5524-2019-3-43-66-74. – EDN: KGYWPE
2. *Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Курушин Р.А., Масальский О.К., Шлаевская Н.С.* Выделение условных районов для ежегодных обзоров сейсмичности региона Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: Изд-во ФОП, 2003. – С. 107–117. – EDN: VBAGBP

ЛИТОСФЕРА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПО ДАННЫМ ПРИЕМНЫХ ФУНКЦИЙ

¹А.Г. Гоев, к.ф.-м.н., ²И.М. Алёшин, к.ф.-м.н.

¹ИДГ РАН, г. Москва

²ИФЗ РАН, г. Москва

Геологическое строение Кольского региона является предметом пристального исследования на протяжении многих десятилетий. Он является северо-восточной частью древнего Фенноскандинавского щита, и сведения о его глубинной структуре важны для полного понимания процессов эволюции и геодинамических процессов Земли. С другой стороны, на территории Кольского полуострова разведаны и разрабатываются многочисленные месторождения твердых полезных ископаемых, генезис которых часто связывают с глубинными тектоническими процессами [1].

Несмотря на многочисленные проведенные исследования, Кольский регион изучен неравномерно. Наиболее полная информация о глубинном строении имеется в районе бурения Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 в северо-западной части полуострова. Структура верхней мантии известна по данным всего двух профилей, проходящих через изучаемую территорию, – профили «Кварц» и «Мурманск–Хибины» (северная часть геотраверса 1-ЕВ) [2, 3].

С развитием площадной сети широкополосных сейсмических станций, равномерно покрывающей северную и центральную части Кольского региона, появилась возможность дополнить имеющиеся сведения о скоростном строении литосферы изучаемой территории. В данной работе был использован метод функций приемника [4]. В основе метода лежит анализ обменных волн, формирующихся на контрастных сейсмических границах под приемником при прохождении через среду *P*- или *S*-волн телесейсмических событий. По данным шести сейсмических станций были построены одномерные скоростные разрезы литосферы и нижележащей мантии до глубины порядка 300 км. По полученным моделям определены положения и характеристики основных сейсмических границ, а также выявлены аномалии скоростного строения верхней мантии.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 21-17-00161).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kogarko L.N., Lahaye Y., Brey G.P.* Plume-related mantle sources of super-large rare metal deposits from the Lovozero and Khibina massifs on the Kola Peninsula, eastern part of Baltic Shield: Sr, Nd and Hf isotope systematics // *Mineralogy and Petrology*. – 2010. – V. 98, N 1. – P. 197–208. – doi:10.1007/s00710-009-0066-1
2. *Павленкова Г.А., Павленкова Н.И.* Результаты совместной обработки данных ядерных и химических взрывов по сверхдлинному профилю «Кварц» (Мурманск–Кызыл) // *Физика Земли*. – 2008. – № 4. – С. 62–73. – EDN: IJKCGT
3. *Золотов Е.Е., Костюченко С.Л., Ракитов В.А.* Неоднородности верхней мантии Балтийского щита по данным сейсмической томографии // *Разведка и охрана недр*. – 2000. – № 2. – С. 27–29.
4. *Винник Л.П.* Сейсмология приемных функций // *Физика Земли*. – 2019. – № 1. – С. 16–27. – doi:10.31857/S0002-33372019116-27. – EDN: BYXDGU

ИЗМЕНЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ СООРУЖЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ

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

Любые сооружения подвержены внешним воздействиям, вызванным изменением природных условий, влиянием естественных и техногенных факторов. К естественным воздействиям можно отнести деформации грунтового основания сооружения, движения земной коры, изменение сезонно-климатических условий, изменения физико-химического состояния конструкции сооружения и прилегающих пород, сейсмические воздействия и т.п. Техногенные факторы – следствие деятельности человека: вибрация, создаваемая работой массивных виброисточников, техники и т.д., – также могут привести к появлению конструкционных дефектов. На сегодняшний день одним из самых распространенных и эффективных инструментов для решения такой задачи является использование различных систем мониторинга.

Данная работа посвящена развитию разрабатываемых в ФИЦ ЕГС РАН методов неразрушающего мониторинга технического состояния сооружений и основана на результатах исследований, проведенных на крупных плотинах, где в результате применения метода [1] на Саяно-Шушенской и Бурейской ГЭС были выделены сезонные изменения частот собственных колебаний [2, 3]. В данном исследовании будет показано, что анализ зарегистрированных данных позволяет определить значения собственных частот сооружений, используя записи непрерывно регистрирующих сейсмостанций, и в случае обнаружения значительных отклонений их от первоначальных значений, делать выводы о причинах изменения динамического состояния сооружения.

Объектом исследования стали сооружения в границах города Новосибирска, представлены результаты наблюдений частот собственных колебаний нескольких жилых домов. В процессе наблюдений выявлено влияние на них внешней температуры – рост температуры окружающей среды приводит к увеличению значений частоты собственных колебаний, а снижение температуры – к уменьшению значений. Наибольшее изменение частоты собственных колебаний зданий происходит в летнее время при температурах более 30°C, когда появляется большой контраст между дневной и ночной температурами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Кречетов Д.В.* О мониторинге технического состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС по изменениям ее собственных частот // Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии. Десятая научно-техническая конференция. Приложение на CD-диске: доклады и выступления на секциях конференции. – СПб, 2017. – С. 55–60.
2. *Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Адилов З.А., Кречетов Д.В.* Мониторинг состояния плотин гидроэлектростанций на основе анализа изменений собственных частот // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 480–484. – EDN: VUJRYH
3. *Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Адилов З.А. и др.* Особенности мониторинга собственных частот плотин гидроэлектростанций (на примере Чиркейской ГЭС) // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 60. – EDN: FUBTHW

СИНТЕЗИРОВАНИЕ АКСЕЛЕРОГРАММ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

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

Недостаточность и слабая пространственная и временная представительность инструментальных записей сильных движений при исследованиях в рамках ДСР и СМР часто приводит к необходимости получения акселерограмм альтернативными методами. Один из них – это синтезирование, основанное на знании основных эмпирических зависимостей параметров колебаний (амплитуда, преобладающий период, спектральный состав, продолжительность воздействий) от параметров очагов (магнитуда, расстояние, тип подвижки, ее ориентация) и среды (затухание волн, свойства грунтов). Задача синтеза записей сильных движений для конкретных условий заключается не только в получении акселерограмм, которые максимально близко соответствуют аналогичным реальным записям, полученным в схожей сейсмотектонической обстановке, но и в генерировании записей скоростей смещения и собственно смещений, чтобы при проектировании была возможность оценить все аспекты реакции зданий и сооружений на колебания.

Существует несколько хорошо проработанных и общепризнанных подходов, позволяющих синтезировать акселерограммы [1–4]. Часть из них вошла в состав нормативных документов строительной отрасли [2], однако их практическая реализация оставляет желать лучшего. В частности, используемое многими изыскателями приложение GOSS [1] содержит скрытые ошибки и ограничения, которые не позволяют применять его в широком диапазоне параметров очагов и воздействий и не учитывают всех требований нормативных документов к результатам расчетов. Зарубежные аналоги [5, 6] имеют богатый и выверенный функционал, но его непросто адаптировать к национальным нормам, а стоимость таких инструментов порой неприемлема для пользователей.

Разработана программа синтеза сейсмических записей SGMС, которая ликвидирует обозначенные выше недостатки аналогичных продуктов. Программа позволяет синтезировать акселерограммы, опираясь на параметры очага или целевые спектры реакции, а также на частотные характеристики грунтов в строгом соответствии с требованиями РБ-006-98, НП 031-01, СП 286.1325800.2016, СТО 95 12022-2017. Имеется удобный интерфейс и вывод, согласованный с форматами других приложений (DeepSoil, SCAD и др.).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бодякин Е.В.** Генерация расчетных сейсмических воздействий по заданным спектрам реакций // Молодой ученый. – 2016. – № 11 (115). – С. 9–13. – EDN: WGGNJD
2. **РБ-006-98.** «*Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ*». Руководства по безопасности. – Введ. 1999-07-01. – М.: НТЦ ЯРБ, 2000. – 76 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035267>
3. **Atik L.A., Abrahamson N.** An improved method for nonstationary spectral matching // Earthquake Spectra. – 2010. – V. 26, N 3. – P. 601–617. – doi:10.1193/1.3459159
4. **Montejo L.A., Suarez L.E.** An improved CWT-based algorithm for the generation of spectrum-compatible records // International Journal of Advanced Structural Engineering. – 2013. – V. 5 (1). – P. 1–7. – doi:10.1186/2008-6695-5-26
5. **Ordóñez G.A.** RspMatchEDT. Quick tutorial. – GeoMotions, LLC, 2017. – 54 p. – URL: <http://www.geomotions.com/Download/RspMatchEDTTutorial.pdf>
6. **SEISMOAPPS: Seismosoft's Suite of Earthquake Tools. Technical Information Sheet.** – URL: <https://seismosoft.com/wp-content/uploads/prods/lib/SEISMOAPPS-Technical-Information-Sheet-ENG.pdf>

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА ПРЕЦИЗИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЦКП «СКИФ»

^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н.,
¹Д.Г. Корабельщиков, ¹А.А. Бах, ^{1,2}А.В. Фатеев, к.ф.-м.н., ¹П.О. Полянский,
¹Н.А. Серёжников, ¹Е.А. Гладышев, ¹В.В. Арапов, ¹Е.В. Шевкунова,
¹И.А. Антонов, ¹Р.А. Ершов
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Рассмотрены результаты экспериментального исследования сейсмических колебаний на площадке под строительство Сибирского кольцевого источника фотонов (СКИФ), представляющего собой источник синхротронного излучения четвертого плюс поколения на 3 Гэв и периметром 480 м. Сейсмические колебания являются помехой, снижающей точность экспериментальной установки при изучении материалов с высокой точностью и разрешенностью. Эксперимент выполнен с широкополосной сейсмологической аппаратурой. Исследованы сейсмические колебания от разных типов источников: природные и техногенные землетрясения, промышленные взрывы, шумы автомобильного и железнодорожного транспорта, колебания от промышленного оборудования на предприятиях, находящихся в стороне от строящейся установки.

Природные землетрясения создают наиболее сильное воздействие на площадку в широком диапазоне частот. Техногенные землетрясения в районе Горловского угольного бассейна [1] могут создать кратковременные сильные сейсмические воздействия. Промышленные взрывы [2] по уровню сейсмического воздействия на площадку существенно уступают воздействию землетрясений и характеризуются более ограниченным спектральным составом колебаний. Шумы автомобильного транспорта охватывают частоты от 4 до 30 Гц и быстро затухают по площадке с удалением от дороги. Железнодорожные шумы имеют характерный вид набора кратных гармоник, охватывающих широкий диапазон частот с длительностью до 10 минут. На площадке регистрируются монохроматические сигналы от работы промышленного оборудования на ней и вне ее. При этом регистрируются как непрерывные сигналы, так и возникающие эпизодически. Особый класс составляют монохроматические колебания с медленно изменяющейся частотой. Полученная информация об уровне, спектре и длительности сейсмических колебаний необходима для расчета сейсмозащиты ЦКП «СКИФ», для разработки системы сейсмологического мониторинга, обеспечивающей компенсацию сейсмического влияния на точность экспериментов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>), и в рамках договора № 2036/21/УЕ от 23.12.2021 г. с ИК СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Павленко О.В., Фатеев А.В., Куприш О.В., Подкорытова В.Г. Колыванское землетрясение 09.01.2019 г. с $ML=4.3$ и особенности наведенной сейсмичности в условиях Горловского угольного бассейна // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2019. – Т. 46, № 4. – С. 29–45. – doi:10.21455/VIS2019.4-2. – EDN: ZKVXYE
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Ворона У.Ю., Серёжников Н.А. Сейсмический эффект промышленных взрывов в Западной Сибири и наведенная сейсмичность // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 45, № 4. – С. 5–24. – doi:10.21455/VIS2017.4-1. – EDN: YZACBV

СВОЙСТВА ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ^{1,2}А.В. Фатеев, к.ф.-м.н.,
¹И.А. Антонов, ¹Р.А. Ершов
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Воздействие человека на геосреду путем разработки полезных ископаемых в Западной Сибири является триггером, который позволяет реализоваться тектоническим напряжениям, накопленным в ходе техногенных и естественных процессов. В результате с каждым годом фиксируется все больше техногенно-тектонических сейсмических активизаций, вклад которых в сейсмическую опасность региона становится сопоставимым с вкладом сейсмичности природного генезиса [1].

В Кузбассе выявлены сильные сейсмические активизации недр в районах угольных выработок. Обнаружен эффект частичной синхронизации сейсмических процессов при разработке железорудных месторождений «Каз», «Шерегеш» и «Таштагол», расположенных на удалениях в десятки километров друг от друга [2].

Техногенная сейсмическая активизация в районе поселков Калтан и Малиновка в Кузбассе связана с добычей угля как открытым, так и закрытым способами, при этом данные разработки расположены в одном и том же районе с частичным перекрытием. Выделено несколько элементов активизированной зоны. Выявлено двухмодальное распределение глубин гипоцентров с модами 1–1.5 и 2–3 км. Показано, что активизированные области находятся на окончаниях известных зон тектонических нарушений [3].

Представлены результаты исследования техногенной сейсмичности, возникшей в районе добычи угля открытым способом на территории Новосибирской области. В Горловской впадине в ответ на техногенное воздействие фиксируются землетрясения с магнитудой до 4.5, ощутимые в Новосибирске и его пригородах [4].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г., Куприш О.В.* Наведенная сейсмичность в угольных и железорудных районах Кузбасса // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 3. – С. 88–96. – doi:10.35540/2686-7907.2020.3.08. – EDN: HRUKXW
2. *Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г.* Наведенная сейсмичность в Кузбассе и Горной Шории // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, № 2. – С. 64–68. – doi:10.15372/FPVGN2021080210. – EDN: ВАПХD
3. *Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В.* Южно-Кузбасская техногенная сейсмическая активизация (Калтанский угольный разрез и шахта «Алардинская») // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 126–131. – EDN: VIVCSX
4. *Еманов А.А., Еманов А.Ф., 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. 207–210. – doi:10.15372/FPVGN2021080132. – EDN: HOUDJN

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ И ИЗМЕНЕНИЯ В СЕЙСМИЧНОСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ^{1,2}А.В. Фатеев, к.ф.-м.н.,
¹И.А. Антонов, ¹Е.В. Шевкунова
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

За последние два десятилетия сеть станций в Алтае-Саянской области количественно изменилась с 13 до 58 станций, имеющих передачу данных в центр обработки в Новосибирск. Сеть станций сформировалась неравномерно по площади с созданием двух полигонов [1, 2]: одного – для изучения природной сейсмичности, другого – для наведенной сейсмичности в местах добычи полезных ископаемых. С 2011 г. осуществляется автоматическая обработка сейсмологических данных с составлением уточненно-го каталога день в день [3].

Каталог землетрясений Алтае-Саянской области с 1963 по 2000 г. состоял примерно из 50 тыс. землетрясений. К настоящему времени за год регистрируется около 14 тыс. землетрясений, и информация о сейсмичности геологических структур перешла на новый уровень представительности и точности. Данному факту способствуют ежегодные работы с десятками временных станций.

Особое внимание уделено влиянию Чуйского землетрясения 2003 г. с $M_S=7.3$ на сейсмичность Горного Алтая. Построена структура сейсмически активизированных разломов в эпицентральной области, и обнаружено существование сейсмически активизированных горизонтальных слоев. Через шесть лет после Чуйского землетрясения установлен факт сейсмической активизации смежных с эпицентральной областью геологических структур со значительной активизацией Айгулакского хребта, а также дальнейшее развитие сейсмически активизированных структур, удаленных на 250–280 км от главного события по разным радиальным направлениям. Часть сейсмически активизированных структур прежде не характеризовалась как сейсмически активная. В северной части Алтая наблюдается сейсмическая активизация линейных разломов. В 2015 г. в Горной Шории обнаружен эффект частичной синхронизации наведенной сейсмичности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Еманов А.А. и др.* Изучение землетрясений малых энергий на локальной сети Алтайского сейсмологического полигона // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – С. 324–326. – EDN: THVXFJ
2. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. и др.* Сейсмологические исследования на территории Алтае-Саянской горной области // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 20–51. – doi:10.35540/2686-7907.2021.2.02. – EDN: XRLSMR
3. *Еманов А.А., Коробельщиков Д.Г., Дзюбарова Ю.О., Дураченко А.В.* Развитие программно-аппаратного комплекса автоматизированного сбора, хранения и обработки сейсмологических данных сети станций Алтае-Саянского региона: ретроспектива, анализ и перспектива // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири: тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием. – Новосибирск: «Полиграфика», 2013. – С. 48–53. – EDN: TCAUIP

РАЗВИТИЕ МЕТОДА СТОЯЧИХ ВОЛН В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ¹А.А. Бах, ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.В. Дураченко
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В основу метода стоячих волн положено свойство когерентности волновых полей в замкнутых объектах и его использование для выделения этих волн для множества собственных частот [1]. Поскольку физическое состояние любого здания или сооружения определяется информацией о полном поле стоячих волн в объекте, было выполнено развитие алгоритмов качественной и количественной интерпретации данных метода стоячих волн по горизонтальным, вертикальным, крутильным колебаниям как конструкции в целом, так и ее элементов [2, 3]. Стоячие волны рассматриваются как объекты с кратностью в двух измерениях, а иногда – в трех (случаи башен или сложных по конфигурации объектов). Установлено, что в некоторых случаях мы наблюдаем стоячие волны в целом для сооружения, а при увеличении кратности иногда независимые блоки объединяются в единые колебания. Установлено, что в зданиях наружные, а иногда внутренние стены ведут себя то как свободно колеблющиеся, то как зажатые. Такой эффект обеспечивает для некоторых стоячих волн одну и ту же двухмерную кратность при совершенно разных амплитудных и фазовых характеристиках волн. Экспериментальные работы на зданиях показали, что при загрузке зданий оборудованием или материалами в значительной степени изменяются собственные вертикальные колебания зданий. Особое внимание уделяется крутильным колебаниям зданий. Данный тип колебаний часто вызывает разрушения зданий и при расчете конструкций предпринимаются усилия обеспечить отсутствие вращательных колебаний. Исследования методом стоячих волн доказали присутствие крутильных колебаний разных мод в зданиях. Информация о полном поле стоячих волн в зданиях используется для верификации расчетных моделей зданий. Приводятся примеры, когда сравниваются собственные частоты здания трех десятков мод – расчетные и экспериментально полученные. Корректировка расчетных моделей обеспечила совпадения собственных частот с ошибками, меньшими в три раза.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еманов А.Ф.* Восстановление когерентных составляющих волновых полей во времени в сейсмике : дисс. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2004. – 324 с.
2. *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
3. *Еманов А.Ф., Бах А.А.* Развитие алгоритмов интерпретации метода стоячих волн для исследования зданий и сооружений сложных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2019. – № 5. – С. 28–35. – EDN: JLDXW

СТРУКТУРА ВОЛНОВОГО ПОЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВАХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

М.А. Ефременко, к.г.-м.н., С.П. Пивоваров, В.В. Мохова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Для успешной интерпретации сейсмических записей в нелинейной и неоднородной литосфере Воронежского кристаллического массива необходимо изучить структуру и создать математическую модель волнового поля, возбуждаемого в крупных карьерах.

На примере анализа волнового поля, возбуждаемого взрывами в Павловском карьере, в котором добывается гранитный щебень, показаны основные особенности его структуры. Были использованы сейсмические записи, зарегистрированные на станциях, расположенных на правом берегу реки Дон (ABD1, VAU7) и на левом берегу (AUB1, AUB2, VSB1). Расстояние от сейсмических станций до центра карьера составляет от 100 до 150 км, а расстояния между станциями – от 10 до 80 км.

Анализ структуры волнового поля записей промышленных взрывов показывает, что основной вклад в его формирование вносят продольные и поверхностные волны. Несмотря на то, что промышленный карьер и станции расположены в одной региональной геологической структуре, записи волновых форм имеют существенные отличия в характере выраженности отдельных типов волн. Продольные волны в структуре волнового поля имеют четкие вступления на записях станций, расположенных на правом берегу реки Дон, а на записях станций левого берега менее выразительны. Поперечные волны регистрируются только на станциях ABD1 и VAU7. Особо следует отметить, что на записях сейсмической станции, расположенной в зоне динамического воздействия крупного глубинного разлома, волновое поле характеризуется аномальными особенностями. Поверхностные волны Лява хорошо регистрируются на записях открытого канала. Амплитуды волны Лява на горизонтальных компонентах станции ABD1, в сравнении с остальными станциями, аномально ярко выражены (интенсивность в 2 раза больше, чем на других станциях). На фильтрованных записях (0.4–0.8 Гц) четко прослеживается волна Релея, представленная короткими импульсами с видимым периодом менее 2 с.

Учитывая, что трассы на пути распространения волн «взрыв–приемник» по структуре и физическим свойствам близки, можно предположить, что особенности записей взрывов могут быть вызваны особенностями геологического строения района установки станции [1]. Таким образом, установленные особенности структуры волнового поля промышленных взрывов в Павловском карьере свидетельствуют о необходимости разработки математического аппарата, адекватно учитывающего особенности записей волнового поля в различных геологических условиях, что позволит создать эффективную методику автоматической интерпретации сейсмических событий.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ефременко М.А., Золототрубова Э.И., Ежова И.Т., Пивоваров С.П.* Влияние геологических условий на характер записей волновых форм промышленных взрывов // Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: материалы XXII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции / Под ред. Л.И. Надёжка, Т.Б. Силкиной. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2020. – С. 131–136. – EDN: WMTVOJ

МЕТОД КОЗ ДЛЯ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ: ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.Д. Завьялов, д.ф.-м.н., А.Н. Морозов, к.т.н., И.М. Алёшин, к.ф.-м.н.,
С.Д. Иванов, к.т.н., К.И. Холодков, к.т.н., В.А. Павленко, к.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

Созданный в середине 1980-х гг. метод среднесрочного прогноза землетрясений по комплексу физически обоснованных прогностических признаков КОЗ (карта ожидаемых землетрясений) был применен для различных сейсмоактивных районов мира с разными тектоническими условиями и сейсмическим режимом: Кавказ, Камчатка, Курилы, Туркменистан, Кыргызстан, Южная Калифорния, Новая Зеландия, Северо-Восточный и Юго-Западный Китай, Западная Турция, Греция и район водохранилищ Койна и Варна в Индии. Показано, что средняя прогностическая эффективность алгоритма в 2.5 раза выше, чем при случайном угадывании. Оказалось, что наиболее эффективным из использованных предвестников для всех регионов является параметр плотности сейсмогенных разрывов $K_{ср}$ [1].

При создании метода КОЗ была заложена возможность его дальнейшей модернизации и расширения функциональных возможностей. Новые способы в обработке данных, которые планируется внедрить в модернизированный метод КОЗ, позволят существенно увеличить объем анализируемой информации, учесть особенности протекания сейсмического процесса на разных глубинах, использовать в качестве стационарных прогностических признаков линеаментно-доменно-фокальные (ЛДФ) модели строения сейсмоактивных зон и строить трехмерные распределения вероятности возникновения сильных землетрясений. В ходе модернизации метода КОЗ планируется расширить список используемых сейсмологических предвестников, имеющих физическое обоснование их связи с процессом подготовки землетрясения, разработать формализованные процедуры выделения таких предвестников для использования в прогностической практике.

Модернизация метода КОЗ позволит улучшить качество среднесрочного прогноза и, как следствие, уменьшить предполагаемый экономический и социальный ущерб от будущих сильных землетрясений. Практическая значимость заключается в возможности передачи прогностической информации в службы экстренного реагирования и администрации сейсмоактивных регионов для принятия управленческих решений, связанных с подготовкой к вероятному сильному землетрясению.

Работа выполнена за счет Российского научного фонда (грант № 22-27-00158) (<https://rscf.ru/project/22-27-00158/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Завьялов А.Д.* Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. – М.: Наука, 2006. – 254 с. – EDN: QKFPZD

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТНЫХ МАГНИТУД M_w И СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

¹А.С. Зверева, ²И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н.

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Одной из основных задач проведения сейсмологического мониторинга является составление каталогов землетрясений, включающих оценки величины землетрясений, выраженные в единой магнитудной шкале. Наиболее предпочтительным является использование моментных магнитуд M_w , связанных с сейсмическим моментом очага M_0 . В настоящей работе проводилось массовое построение очаговых спектров и расчет спектральных и динамических параметров очагов землетрясений района Западного Кавказа.

Спектральный анализ проводился в программном комплексе SEISAN, который основан на модели Бруна. Сейсмический момент M_0 ($H\cdot m$) рассчитывался из уровня площадки очагового спектра, пересчитанного из спектра смещений объемной S -волны, длительность окна которой выбиралась от вступления до момента, когда амплитуда этой группы волн достигла примерно $1/3 A_{Smax}$. С выбранным фрагментом записи производились следующие процедуры: удаление постоянной составляющей, применение синусоидального конуса в пределах крайних 10% длительности сегмента, быстрое преобразование Фурье, внесение поправки за затухание и коррекция за АЧХ аппаратуры. Потери за неупругое затухание задавались в виде функции, в которой учитывались приповерхностные потери с постоянным $\kappa=0.02$ (каппа) (согласно [1], в настоящей работе κ не оказывает влияния на спектральный анализ землетрясений, участвующих в расчете) и неупругое затухание, определяемое добротностью среды Q . Q зависит от частоты в соответствии с соотношением, полученным в [2] для Западного Кавказа $Q=91\cdot f^{1.05}$ (для f менее 1 Гц Q по умолчанию считалось независимым от частоты). Геометрическое расхождение для внесения поправки определялось в зависимости от расстояния и глубины согласно [1].

В качестве исходных данных для расчета были отобраны записи 39 землетрясений с $ML>3.0$ и $h<40$ км за период 2015–2021 гг., зарегистрированных сетью сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН. Расчет проводился для всех спектров в соответствии с моделью Бруна на каждой сейсмической станции в отдельности. Определялись уровень плоской части спектра Ω_0 как полный вектор смещения S -волны ($m\cdot c$), приведенный к условиям однородного упругого полупространства, и угловая частота f_0 , которые использованы для расчета динамических параметров очагов и магнитуды M_w . Значения магнитуды M_w рассчитывались по формуле Канамори: $M_w=2/3(\lg M_0+7)-10.7$.

Для каждого землетрясения в программе SEISAN были получены отдельные стационные значения: $\lg M_0$ (логарифм момента в единицах $H\cdot m$), $ST=\sigma$ (сброшенное напряжение в барах), f_0 (угловая частота в Гц), r (радиус круговой площадки), M_w и общее среднее. Проведено сравнение полученных значений $\lg M_0$ в зависимости от K_r с долговременными зависимостями для разных зон Кавказа. Результаты расчета M_w , полученные в настоящей работе, удовлетворительно согласуются с данными Крымской сети [2].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Havskov J., Ottemoller L.* Routine data processing in earthquake seismology: With sample data, exercises and software. – Springer Science & Business Media, 2010. – 352 с.
2. *Габсатарова И.П., Зверева А.С., Бабкова Е.А.* Добротность среды в некоторых районах Северного Кавказа // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 32.

НОВЕЙШИЕ СТРУКТУРЫ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ФОНОВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

**Ж.К. Калысова, К.Е. Абдрахматов, чл.-корр. НАН КР
ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан**

Северный Тянь-Шань является густонаселенным регионом с развитыми социально-экономическими базами. Имеются крупные города, такие, как Бишкек и Алматы. Определение оценки сейсмической опасности этого региона является важной и актуальной задачей.

На сочленении Тянь-Шаня сформировались новейшие и современные активные структуры Кыргызского, Заилийского и Кунгейского поднятий, а также Чуйской, Илийской и Иссык-Кульской впадин. Литосфера Казахского щита поддвигается в южном направлении, а литосфера Тянь-Шаня надвигается в северном направлении [1, 2]. Данные поднятия образовались на висячих крыльях активных разломов и состоят из локальных антиклинальных структур протяженностью 30–60 км. Это означает, что разломы разделяются на сегменты различного порядка (отрезки разного масштаба) как по простиранию, так и по падению на глубинах. В зонах активных разломов проявились исторические сильные и катастрофические землетрясения: Меркенское (1865 г., $MLH=6.4$), Беловодское (1885 г., $MLH=6.9$), Верненское (1887 г., $MLH=7.3$), Чиликское (1889 г., $MLH=8.3$), Кеминское (1911 г., $MLH=8.2$), Кемино-Чуйское (1938 г., $MLH=6.9$), Жаланащ-Тюпское (1978 г., $MLH=6.6$), Байсорунское (1990 г., $MLH=6.0$) [3]. Широко развиты сейсморазрывы и сейсмооползны сильных палеоземлетрясений.

В целях анализа связи новейших структур с сейсмичностью был использован банк сейсмических данных Института сейсмологии НАН КР, из которого сделана выборка землетрясений с $K \geq 9$ за период 1991–2022 гг. Используемые данные, несмотря на некоторые сложности при определении глубин землетрясений и локации исторических событий, при региональном анализе позволяют достаточно определенно выявить пространственную морфологию сейсмического поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шерман С.И.** Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2014. – 359 с. – EDN: WXGFTJ
2. **Абдрахматов К.Е.** Внутриконтинентальное горообразование и сейсмическая опасность (на примере Тянь-Шаня). – Бишкек: Инсанат, 2013. – 119 с.
3. **Джанабиллова С.О.** Внутреннее строение северо-тяньшаньской сейсмической зоны // Научные исследования в Кыргызской Республике. – 2017. – № 1. – С. 23–26. – URL: <http://journal.vak.kg/god-2017/vnutrennee-stroenie-severo-tyanshan/>

АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРЕДЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО ОБРАЗЦА ГОРНОЙ ПОРОДЫ

**Ф.Х. Каримов, д.ф.-м.н., Н.Г. Саломов, к.ф.-м.н.
ИГССС НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан**

В настоящей работе представлены результаты продолжающихся наблюдений над вариациями скорости крипа модельного образца горной породы в форме куба со сторонами 7 см, на который действует одноосное давление 3500 кг в активной фазе относительно быстрого разрушения [1].

За время наблюдений с сентября 2009 г. по май 2022 г. в линейном приближении выделяется долговременный монотонный положительный тренд скорости крипа, отражающий процесс квазиравновесного, медленно ускоряющегося разрушения образца.

Скорости крипа в полиномиальном представлении временного ряда чередуются ростом и замедлением – жесткость образца и прочности межатомных связей по мере развития крипа изменяются.

Выделяются сезонные, годовые вариации скорости крипа: в летнее время скорости крипа понижаются, в зимнее – возрастают. Сезонный ход крипа коррелируется с сезонным ходом атмосферного давления.

На начальной стадии крипа, с 2009 по 2015 г., амплитуды сезонных деформаций самые большие, что можно объяснить относительной мягкостью образцов и, следовательно, большей податливостью к деформированию. На второй стадии, с 2016 по 2020 г., по мере сжатия образцы становятся более плотными и жесткими, и, следовательно, менее податливыми к деформированию – максимумы скорости крипа и сезонных изменений амплитуды скорости снижаются. С 2020 г. существенно снижается максимум скорости крипа и средние ежесуточные значения. По-видимому, межатомные связи вследствие лавинообразного накопления трещин или дилатансии настолько разрушены, что податливость образца к деформированию снижается, хотя сезонность хода скорости пока сохраняется. Замедление крипа в настоящее время может указывать на продолжающееся разрушение межатомных связей образца и тенденцию к его переходу в заключительную стадию окончательного разрушения.

Обнаруженные особенности деформирования образцов качественно согласуются с известными общими представлениями о подготовке очагов тектонических землетрясений: на первом этапе происходит уплотнение геосреды, на втором – образование жесткого включения на границах отдельностей геосреды и переход к относительно медленному его разрушению, на третьем – быстрая подвижка на границе между ними и образование очага землетрясения.

Значимая корреляция изменений атмосферного давления и крипа предельно напряженной геосреды дает основания полагать, что они могут играть роль триггера в возникновении землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каримов Ф.Х., Саломов Н.Г.* Крип образца горной породы и модель подготовки тектонического землетрясения // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 45. – EDN: ENFFJQ

К 15-ЛЕТИЮ ПУЛКОВСКОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ

**В.В. Карпинский, Б.А. Ассиновская, к.ф.-м.н., Л.М. Мунирова,
О.В. Карпинская, к.х.н., Н.М. Панас, В.В. Крумпан**
ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург

В конце 1990-х гг. сформировалось убеждение в необходимости непрерывного сейсмологического мониторинга на северо-западе РФ. В то время такой мониторинг проводился на Кольском полуострове (Кольский филиал ГС РАН), а также финской и эстонской сейсмическими сетями. На территории Ленинградской области и Карелии такие наблюдения проводились эпизодически. Станция «Пулково» из-за высокого уровня техногенной активности в ее окрестности оказалась практически непригодной для регионального мониторинга. В 2001 г. сотрудниками СПбГУ и Института геологии КарНЦ были проведены работы по выбору мест, подходящих для сейсмической регистрации на территории Центральной Карелии, Северного Приладожья и на о. Валаам. В дальнейшем результаты этих работ были использованы при организации региональных сетей ГС РАН и Института геологии КарНЦ РАН.

В 2005–2006 гг. были открыты станции в Выборге (VYBR, декабрь 2005 г.) и на о. Валаам (VALR, июнь 2006 г.). Вследствие хороших геологических условий и невысокого уровня техногенных шумов эти станции стали базовыми для Пулковской региональной сейсмической сети. Позднее были открыты сейсмические станции в деревне Лопухинка (LOPUX, декабрь 2014 г.) и на Магнитной станции «Красное озеро» СПбФ ИЗМИРАН (IZMRN, 2007–2009 гг., апрель 2014 г.).

Пулковская региональная сеть позволяет уверенно регистрировать события с $ML > 1.0$ в радиусе до 400 км от центра сети. В год регистрируется 1500–2000 событий, 99% из которых являются карьерными, промышленными или военными взрывами, 1% – землетрясения или «вероятно землетрясения». В основном очаги землетрясений приурочены к Ладожско-Ботнической зоне на территории РФ и Финляндии, часть событий являются наведенными землетрясениями, т.к. их очаги расположены в районе действующих карьеров в отсутствие взрывных работ.

Результаты сейсмического мониторинга публикуются в ежегоднике «Землетрясения России» и в журнале «Землетрясения Северной Евразии», на основе данных Пулковской региональной сейсмической сети проведен ряд научных исследований по сейсмичности региона [1, 2]. Станции сети и опыт обработки сотрудников станции «Пулково» были основой успешного проведения в 2021 г. сейсмического мониторинга Ленинградской АЭС. Дальнейшее развитие сети – открытие еще одного-двух пунктов наблюдения и модернизация оборудования – позволит улучшить качество локации событий.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Карпинский В.В., Асминг В.Э.* Результаты первичной обработки данных инфразвуковой группы на острове Валаам // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 85–91. – doi:10.35540/2686-7907.2020.1.08. – EDN: QZWTRT
2. *Ассиновская Б.А., Карпинский В.В.* Ладожские сейсмические явления. – СПб., 2020. – 54 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРИБАЙКАЛЬЕ

Е.А. Кобелева, к.ф.-м.н., В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н.
БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Переход с гальванометрической регистрации на цифровую в Байкальском филиале (БФ) ФИЦ ЕГС РАН начался в 1998 г., благодаря сотрудничеству с коллегами из Института лазерной физики СО РАН В.М. Семибаламутом и А.Ю. Рыбушкиным. Несомненным достоинством цифровых регистраторов «Байкал», которые начали устанавливать на станциях, являлось наличие шести измерительных каналов. Это позволило существенно расширить динамический диапазон регистрируемых колебаний.

В настоящее время в Прибайкалье функционируют региональная сеть сейсмических стационарных станций БФ ФИЦ ЕГС РАН, состоящая из 26 цифровых сейсмических станций, локальная сеть Бурятского филиала (БуФ) ФИЦ ЕГС РАН из десяти станций (регистраторы преимущественно серии «Байкал») и две сейсмические станции ИЗК СО РАН (Guralp-6TD, Centaur + Tillium Compact120s). В основном станции расположены в пределах Байкальской рифтовой зоны. Станции БФ ФИЦ ЕГС РАН оснащены короткопериодными велосиметрами СМ-3 или СМ-3КВ. На пяти станциях установлены широкополосные чувствительные сейсмометры SMG-3ESPCD или Tillium Compact120s. 23 сейсмические станции, преимущественно оснащенные акселерометрами ОСП-2М и Guralp-5T, составляют сеть сильных движений. Сейсмоприемник ОСП-2М по техническим данным, приведенным в [1], работает в режиме регистрации ускорений от $2.5 \cdot 10^{-2}$ до 9.84 м/с^2 в диапазоне частот 0.55–55 Гц. Наш опыт использования данных сейсмоприемников показывает, что нижний амплитудный предел их регистрации существенно ниже – от $5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$. Также сейсмоприемниками ОСП-2М можно регистрировать колебания, по крайней мере, до 0.16 Гц.

Аппаратура серии «Байкал» в комплекте с датчиками СМ-3КВ, ОСП-2М, СК-1П в климатических условиях нашего региона работает стабильно, а приборы Guralp и Nanometrix приходится дополнительно утеплять, стабилизировать резкие перепады температур, экранировать, исключать конвекционные потоки.

В 2010 г. на замену периферийным блокам ЦСС «Байкал-11» из-за снятия с производства АЦП, используемой в них, сотрудниками Байкальского филиала был разработан и изготовлен периферийный блок «Байкал-МС». Вместе с модулем связи «Ангара-05U» он полностью заменяет зарекомендованную систему регистрации на основе «Байкал-11». «Байкал-МС» выполнен в более интегрированном исполнении, на современной элементной базе, с использованием передовых технологий. Обладая аналогичными «Байкал-11» характеристиками, «Байкал-МС» дополнительно позволяет оперативно расширять динамический диапазон на трех каналах за счет ступенчатого изменения коэффициента усиления инструментальных усилителей. При разработке был учтен опыт эксплуатации «Байкал-11» и устранены такие недостатки, как слабая грозозащита и «зависание» при включении питания.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сейсмоприемники полевые магнитоэлектрические с большим затуханием ОСП-2МВ, ОСП-2МГ. Техническое описание.* – Ленинкакан: Государственный комитет по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Армянской ССР, 1986. – 12 с.

КОМПЛЕКСНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2016–2021 ГГ.

А.А. Коновалова
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Представлены результаты анализа пространственно-временного распределения предвестниковых аномалий, уточняющие местоположение возможного сильного землетрясения относительно выделяемых аномалий, на примере реализовавшихся предвестников в 2016–2021 гг. Заблаговременное проявление среднесрочных предвестников отмечено перед всеми сильными событиями, рассмотренными в работе.

При детальном ретроспективном анализе вариаций фоновой сейсмичности, предшествующей серии сильных событий 2016–2019 гг., коррелируемое предвестниковое поведение параметров среднесрочных прогностических методик (*RTL*, *Z*-функция, вариации наклона графика повторяемости γ и площади сейсмогенных разрывов *dS*) [2] позволяет обоснованно применять комплексный анализ выявленных в режиме реального времени предвестниковых аномалий, рассматривая смежные места проявления низкой сейсмичности и активизаций в качестве возможной оценки места будущего макро разрыва. Предвестниковая составляющая увеличения площади сейсмогенных разрывов впервые перед событиями, являющимися сильнейшими для районов расположения их очаговых областей (Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. $M_w=7.8$ [3] и землетрясения Углового Поднятия 20.12.2018 г. $M_w=7.3$ [1]), приурочена к началу их форшоковых активизаций. По хронологии развития аномалий и «реконструкции» стадий подготовки серии сильных землетрясений с 2016 г. в местах их будущих очагов получены сведения о линейном масштабе области, подверженной одновременному воздействию тектонических нарушений, связанных с образованием макро разрывов. Горизонтальная протяженность аномальной области в зоне сочленения Тихоокеанской, Североамериканской и Евразийской литосферных плит, включающей последовательные стадии затиший и форшоковых активизаций, составляет ~900 км, что допускает возможность, согласно [4], сильнейшего землетрясения с магнитудой, превышающей все ранее зарегистрированные в этом районе.

Дана прогнозная оценка предвестниковых аномалий в Курило-Камчатской островной дуге для отдельных районов, рассмотренных в работе. Мониторинг аномалий с учетом реализовавшихся предвестников перед землетрясениями 2020–2021 гг. обращает в настоящее время внимание на район Кроноцкого залива, как место возможного сильнейшего землетрясения, и Камчатского полуострова.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Воронаев П.В., Коновалова А.А. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 89–97. – EDN: GMEAPM
2. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Кравченко Н.М., Коновалова А.А. Параметрическое представление динамики сейсмичности Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 65–84. – doi:10.7868/S0203030613010069. – EDN: PUASZV
3. Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Абубакиров И.Р. и др. Ближне-Алеутское землетрясение 17.07.2017 г. с $M_w=7.8$. I. Протяженный разрыв вдоль Командорского блока Алеутской островной дуги по данным наблюдений на Камчатке // Физика Земли. – 2019. – № 4. – С. 48–71. – doi:10.31857/S0002-33372019448-71. – EDN: IKWILL
4. Bowman D.D., Ouillon G., et al. An observational test of the critical earthquake concept // Journal of Geophysical Research. – 1998. – V. 103, B10. – P. 24359–24372. – doi:10.1029/98JB00792

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА СКВАЖИНАХ ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОГО ПОЛИГОНА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Г.Н. Копылова, д.г.-м.н., С.В. Болдина, к.г.-м.н., В.А. Кобзев, Г.М. Коркина
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Камчатским филиалом (КФ) ФИЦ ЕГС РАН выполнена модернизация системы наблюдений за вариациями давления подземных вод на четырех скважинах с использованием аппаратуры Keller, Швейцария (датчики PAA36 XiW CTD Si, PAA36 XiW; регистратор GSM-2), Campbell Scientific Inc, США (регистраторы CR-6 и CR-1000) и регистратора гидрогеодинамических данных наблюдений (РГДН) на основе миникомпьютеров STK-1 [1, 2] с целью развития аппаратурной части Уникальной научной установки (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>), функционирующей в Федеральном исследовательском центре «Единая геофизическая служба Российской академии наук». В состав оборудования также входят системы автономного электропитания на основе солнечных панелей и средства передачи данных по каналам сотовой связи.

Особенностью технического эксперимента являлось использование различных комплектов оборудования на отдельных скважинах для измерения давления подземных вод в широком диапазоне частот (20–0.008 Гц), включающем проявления вибрационных эффектов сейсмических волн и гидрогеодинамических предвестников землетрясений, в т.ч. бюджетного варианта РГДН, созданного в КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Перспективы исследований с использованием данных скважинных наблюдений связаны с накоплением достоверных данных о высокочастотных откликах давления подземных вод при прохождении сейсмических волн от землетрясений в широком диапазоне магнитуд и эпицентральных расстояний и созданием моделей вибрационных откликов для отдельных наблюдательных скважин. Расширенное исследование высокочастотных эффектов изменения давления позволит рассматривать вибрационное воздействие сейсмических волн в качестве природных зондирующих сигналов состояния отдельных наблюдательных систем «скважина – водоносный горизонт» с оценкой фильтрационных свойств водовмещающих пород и их изменчивости во времени, а также поиска новых видов гидрогеодинамических предвестников сильных землетрясений.

С использованием нового оборудования в изменениях давления воды в уникальной скважине Е-1 в режиме реального времени был зарегистрирован гидрогеодинамический предвестник землетрясения 16 марта 2021 г. с $M_w=6.6$, произошедшего на эпицентральном расстоянии 350 км от скважины [1].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Болдина С.В., Копылова Г.Н., Кобзев В.А.** Исследование эффектов землетрясений в изменениях давления подземных вод: аппаратура и некоторые результаты наблюдений в скважинах полуострова Камчатка // Геодинамика и Тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № 2. – Ст. 0594. – doi:10.5800/GT-2022-13-2-0594
2. **Кобзев В.А., Коркина Г.М.** Опыт использования миникомпьютера типа STK-1 при проведении наблюдений в скважинах // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов [Электронный ресурс] : Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Петропавловск-Камчатский. 26 сентября – 2 октября 2021 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 401–404. – doi:10.35540/903258-451.2021.8.76. – EDN: HPPBUF

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АНДРЕЙ-ТАССКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В СИСТЕМЕ ХРЕБТА ЧЕРСКОГО И ЕГО ОСОБЕННОСТИ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

¹А.С. Куляндина, ²Б.М. Козьмин, к.г.-м.н., ¹С.В. Шibaев
¹ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск
²ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

Одно из самых сильных землетрясений ($K_p=15.6$, $M_w=6.1$, $I_0=7-8$) за последние 50 лет в районе хребта Черского произошло 22 июня 2008 г. в $23^{\text{h}}56^{\text{m}}$. Его эпицентр тяготеет к кряжу Андрей-Тас и граничащему с ним на юго-востоке Момскому хребту. Они обрамляют с северо-востока кайнозойскую Момо-Селенняхскую впадину. По своему простиранию названные хребты ограничены системами надвиговых и взбросовых нарушений. В центральной части Момского хребта широко развиты дизъюнктивы преимущественно левосдвиговой кинематики. Его абсолютные высоты здесь достигают 2500 м, а современный рельеф представляет собой высокогорье с широким проявлением свежих форм ледниковой деятельности, придающих этой территории альпинотипный облик. С севера данные горные поднятия контактируют с Индигиро-Зырянским прогибом, включающим озерно-болотистые участки Абыйской и Ожогинской низменностей. При этом кайнозойские образования Индигиро-Зырянского прогиба, граничащие с Момским хребтом, в результате надвиговых перемещений последнего дислоцированы в протяженную систему складок [1]. За 54-летний период (1968–2022 гг.) здесь возникло около десятка сильных ($M_S \geq 4.0$) подземных толчков. Названное скопление эпицентров регистрируется к северу и северо-западу как сегмент границы между Евразийской и Североамериканской литосферными плитами.

Для выяснения структурно-тектонических особенностей и их взаимосвязей с сейсмичностью были привлечены сведения о геофизических полях [2]. На основе каталога эпицентров землетрясений построен их график повторяемости за исследуемый интервал времени в зависимости от энергетического класса [3]. Цифровые данные по магнитным и гравитационным аномалиям позволили уточнить морфо-кинематические параметры Илин-Тасского разлома, куда тяготеет эпицентр землетрясения. Разлом отделяет Индигиро-Зырянский прогиб от горных поднятий Момского хребта и кряжа Андрей-Тас и трассируется границей между положительными и отрицательными магнитными изолиниями. На карте рисунка поля силы тяжести главный сейсмический удар приурочен к гравиметрическому градиенту. Его среднее значение – 2–30 мГал. На рельефе все эпицентральное поле занимает западный склон кряжа Андрей-Тас.

Сведения, полученные при изучении последствий Андрей-Тасского землетрясения, позволяют выявить детальные характеристики местной сейсмичности и уточнить региональный уровень сейсмической опасности в арктических районах Якутии.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шibaев С.В., Козьмин Б.М., Петров А.Ф., Имаева Л.П., Тимиршин К.В. Андрей-Тасское землетрясение 22 июня 2008 г. с $K_p=15.6$, $M_w=6.1$, $I_0=7-8$ (Северо-Восток Якутии) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 352–358. – EDN: UDUBKZ
2. Трофименко С.В. Структура и динамика геофизических полей и сейсмических процессов в блоковой модели земной коры: автореферат дисс. на соиск. уч. степ. д-ра геол.-мин. наук. – Томск: ГОУ ВПО «НИ ТПУ», 2011. – 47 с.
3. Терещенко М.В., Гриб Н.Н. Динамика сейсмического режима и геофизических полей в Южно-Якутском регионе // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-4. – С. 784–788. – EDN: SKFIZN

ОБНАРУЖЕНИЕ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ЗАПИСЯМ МАЛОАМПЛИТУДНЫХ СИГНАЛОВ НА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ СТАНЦИЙ

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

Развивается подход к мониторингу состояния оборудования и сооружений крупных промышленных объектов, основанный на спектрально-временном анализе записей сейсмического шума с сейсмостанций, расположенных в их окрестностях. Исследованиями показано, что в сейсмическом шуме в виде малоамплитудных сигналов содержится отклик колебаний от различных объектов, расположенных на расстоянии от сейсмической станции. ФИЦ ЕГС РАН обладает мощным инструментом для их изучения – сейсмологической сетью, охватывающей все сейсмоактивные районы Российской Федерации, состоящей из высокочувствительных широкополосных цифровых сейсмостанций, непрерывные записи с которых поступают в обрабатывающие центры и хранятся там неограниченное время [1]. Научившись выделять из сейсмического шума малоамплитудные (на порядки ниже уровня фона) сигналы, связанные с колебаниями определенного объекта, и изучив их взаимосвязи, можно по записям сейсмических станций контролировать его состояние, обнаруживая опасные процессы при эксплуатации и тем самым снижая риски возникновения аварий. Показано, что с использованием разработанных ранее алгоритмов и приемов интерпретации, использованных при расшифровке причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС [2], по данным с сейсмических станций можно дистанционно оценивать вибрацию оборудования, следить за изменениями значений собственных частот сооружений, получать информацию, необходимую для расследования нештатных ситуаций.

С использованием цифровых архивных записей (с 2001 г.) сейсмостанции «Черемушки», расположенной в 4.4 км от плотины Саяно-Шушенской ГЭС, выполняется мониторинг собственных частот первых семи мод. Определены зависимости частот не только от уровня водохранилища, но и от скорости его изменения. Учет этих факторов позволил более достоверно определить изменение в состоянии плотины, которое выражается в увеличении значений собственных частот на величину до 0.03 Гц за 20-летний период наблюдений и объясняется процессами консолидации плотины. Начаты аналогичные исследования по мониторингу частот плотины Чиркейской ГЭС.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дягилев Р.А., Сдельникова И.А.* Уникальная научная установка «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» // Геодинамика и Тектонофизика. – doi:10.5800/GT-2022-13-2s-0591. (В печати).
2. *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. – V. 85, Is. 4. – P. 817–824. – doi:10.1785/0220130163

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СВДЗК НА ПЛОЩАДКЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОИАЭ

И.Ю. Лободенко, к.г.-м.н., Л.М. Фихиева, к.г.-м.н.,
О.Ю. Кавун, д.т.н., А.С. Гусельцев, к.г.-м.н., П.А. Назина
ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва

Для ответственных зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения, к которым относятся ответственные здания и сооружения (ЗиС) объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), предъявляются жесткие требования по допустимым статическим кренам. При этом величина крена определяется деформациями основания сооружения с учетом современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) на площадке размещения [1]. Воздействие СВДЗК на единый тектонический блок земной коры носит «накопительный» характер, увеличивая наклон (крен) последнего. В период строительства и в начале эксплуатации ОИАЭ воздействие СВДЗК I и II степени опасности по НП-064-17 незначительно и не влияет на крен зданий и сооружений ОИАЭ, сформированный деформациями грунтов оснований [2]. Однако по прошествии 60 лет и более с момента строительства ОИАЭ изменение наклона (крена) единого тектонического блока земной коры, на котором размещена площадка ОИАЭ, становится соизмеримым с предельно допустимыми значениями крена ЗиС, образованного деформациями грунтов оснований. В ФБУ «НТЦ ЯРБ» разработана методика оценки СВДЗК на площадке ОИАЭ по данным наблюдений в режиме мониторинга изменений высотных отметок геодезических реперов, установленных на площадке ОИАЭ. Согласно методике, оценивается устойчивость геодезических реперов от внешних явлений и факторов природного происхождения на основе данных метеорологического, гидрологического и гидрогеологического мониторингов на площадке размещения ОИАЭ. Устойчивость геодезических реперов от внешних природных явлений и факторов, а также техногенных воздействий на площадке ОИАЭ обеспечивает достаточную точность определения градиента скорости СВДЗК для оценки наклона (относительного крена) единого тектонического блока, на котором размещена площадка ОИАЭ. Равнозначная точность определения наклона (относительного крена) единого тектонического блока, на котором размещена площадка ОИАЭ, за счет воздействия СВДЗК и определения относительного крена фундаментов зданий и сооружений, образованного за счет сжимаемости грунтов оснований, позволяет, в соответствии с требованиями п. 3.7 [1], оценить непревышение проектных пределов крена зданий и сооружений ОИАЭ с учетом СВДЗК.

Методика опробована на площадке размещения Кольской АЭС совместно с Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН. По данным изменений высотных отметок глубинных геодезических реперов на площадке размещения Кольской АЭС за период наблюдений 1986–2020 гг., были получены значения скорости СВДЗК указанных выше глубинных геодезических реперов. Среднее значение скорости СВДЗК на площадке размещения Кольской АЭС, равное -0.0072 мм/год, коррелируется с зоной близких к нулю значений скоростей СВДЗК в районе размещения Кольской АЭС по данным повторных спутниковых измерений геодинамической сети Карелии и Кольского полуострова. Градиент скорости СВДЗК на площадке Кольской АЭС по данным изменений высотных отметок глубинных геодезических реперов составляет: $grad V = 4.7 \cdot 10^{-7}$ 1/год, что оценивается как II степень опасности по последствиям воздействия на ОИАЭ (по НП-064-17).

ЛИТЕРАТУРА

1. *НП-064-17. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии* / Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 ноября 2017 г. № 514.
2. *Фихиева Л.М., Малофеев А.А., Меньщикова В.В.* Требования учета СДЗК в районах и на площадках размещения объектов использования атомной энергии // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 105.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА, ПРЕДВАРЯВШАЯ 8-БАЛЛЬНОЕ ЮЖНО-ЯКУТСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 20 АПРЕЛЯ 1989 Г.

^{1,2}А.А. Макаров, ²С.В. Шибяев

¹ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

²ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск

Южно-Якутское 8-балльное землетрясение 1989 г. является одним из самых крупных сейсмических событий, произошедших на территории Южной Якутии. Оно ощущалось на значительной части территории Сибири и Дальнего Востока (макросейсмические проявления наблюдались на площади около 1.5 млн. км²) [1]. Изучена сейсмическая обстановка землетрясения и ее возможные предвестники, дополненные новыми данными.

В геологическом плане рассматриваемая область относится к западной части Чульманской впадины, представленной Усмунской синклиналию, которая сложена мезозойскими отложениями в основном юрского возраста.

В период с 1963 по 1988 г. стационарной сетью сейсмических станций в междуречье Олёкмы и Алдана было зарегистрировано около 7 тыс. событий разных энергетических классов. Они относятся к Олёкмо-Становой зоне, продолжающей землетрясения Байкальского рифта в направлении к Охотскому морю. В пределах этой области до 1989 г. были выделены только три крупных эпицентральных поля: Олёкминское (между левыми ее притоками Имангра и Тас-Юрях), Тас-Миелинское (к северу от Олёкминского поля) и Ларбинское (южнее истоков реки Алдан). Основное событие произошло на территории, заключенной между тремя названными полями [2]. Эта область характеризовалась немногочисленными рассредоточенными по площади подземными толчками с магнитудой $MS=2-4$. Они были зафиксированы четырьмя стационарными станциями ЯФ ГС СО РАН («Тунгурча», «Чульман», «Усть-Нюкжа», «Усть-Ур-кима»). Следует отметить, что за 25 лет инструментальных наблюдений, предшествующих Южно-Якутскому землетрясению, в радиусе 100 км от главного эпицентра было зарегистрировано всего пять событий средней интенсивности ($K_p=10$) и два ($K_p=11$). Эти факты могут подтверждать наличие здесь «зоны сейсмического молчания». Однако геодезические данные, собранные за период, предшествующий главному сейсмическому толчку, указывают на то, что будущая зона землетрясения формировалась в течение 20 лет [3]. Другими предвестниками стали аномальные изменения геофизического поля электромагнитного излучения (ЭМИ). Они дополняются данными опроса населения, указывающими на увеличение разгрузки термальных вод радоновых и минеральных источников «Тунгурча» и «Нахот», действующих в этом районе, а также активными наледными процессами, свечением нижнего слоя атмосферы над эпицентром, замеченным за несколько дней населением в ближайших поселках. Кроме того, было зафиксировано многочисленное необычное поведение диких и домашних животных, птиц и др.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Сейсмотектоника Якутии. – М.: ГЕОС, 2000. – 227 с. – EDN: ТЮСРЛ
2. *Историческая геология Якутии: Юбилейный сборник* / Отв. ред. В.С. Шкодзинский. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2007. – 244 с.
3. *Бочаров Г.В., Замараев Н.Н.* Геодезические измерения на геодинамических полигонах Южной Якутии // Геодезия и картография. – 1991. – № 3. – С. 30–34.

КРАТКОСРОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ В ПОЛЕ ПОДПОЧВЕННОГО РАДОНА И АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, ПРЕДВАРЯВШИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ С $M=6.6$ 16 МАРТА 2021 Г. (КАМЧАТКА)

Е.О. Макаров, к.ф.-м.н., Р.Р. Акбашев
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Радоновый мониторинг в мировой литературе признан перспективным методом с целью прогноза землетрясений. Успешность метода обусловлена свойствами радона и особенностями процесса его миграции. На Камчатке, начиная с 1997 г. и по настоящее время, метод мониторинга эманаций подпочвенного радона на сети пунктов используется с целью контроля изменения геодинамической обстановки в районе Камчатки и прогноза сильных землетрясений. За время работы сети достаточно убедительно продемонстрирована перспективность радонового метода для этих целей [1].

В последние годы на Камчатке развернута сеть пунктов регистрации электрического поля атмосферы, базирующаяся на флюксометрах ЭФ-4. Сеть позволяет регистрировать отклики градиент-потенциала электрического поля атмосферы от различных геодинамических событий, в частности от прохождения эруптивных облаков при извержении вулканов. По литературным данным известно, что электрическое поле приземного слоя может аномально изменяться при подготовке сильных сейсмических событий, что связывается исследователями, в том числе и с аномальными вариациями радона, эманующего с земной поверхности [4]. Объединение двух методов мониторинга радоновых и электрических полей может существенно повысить качество прогноза сильных землетрясений.

На Камчатке в 2021 г. в реальном времени в поле подпочвенных газов наблюдался процесс развития аномалий длительностью $\sim 6-18$ сут., которые предвещали сильное землетрясение с $M_w=6.6$, произошедшее 16 марта 2021 г. [3]. На основании полученных данных был сделан успешный прогноз этого землетрясения.

Детальный анализ данных радонового мониторинга в сопоставлении с данными регистрации атмосферного электрического поля позволил выявить аномальные вариации в поле подпочвенного радона и атмосферного электричества длительностью $\sim 4-5$ ч., возникшие за несколько часов перед землетрясением 16 марта 2021 года.

Обнаруженные возмущения можно рассматривать как оперативные предвестники данного землетрясения и свидетельство воздействия земной коры на приземную атмосферу во время его подготовки.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фирстов П.П., Макаров Е.О.* Динамика подпочвенного радона на Камчатке и сильные землетрясения. – Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2018. – 148 с.
2. *Фирстов П.П., Макаров Е.О., Глухова И.П.* Особенности динамики подпочвенных газов перед Жупановским землетрясением 30.01.2016 г. с $M=7.2$ (Камчатка) // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 472, № 4. – С. 462–465. – doi:10.7868/s0869565217040144
3. *Firstov P., Makarov E.* Reaction in the field of subsoil gases to the preparation of the earthquake on March 16, 2021 with $M_w=6.6$ (Kamchatka, Russia) // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – V. 2094. – 052026. – doi:10.1088/1742-6596/2094/5/052026
4. *Руленко О.П., Маранулец Ю.В., Кузьмин Ю.Д., Солодчук А.А.* Совместное возмущение геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей у границы Земная кора — атмосфера перед землетрясением // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2016. – № 3 (14). – С. 72–78. – doi:10.18454/2079-6641-2016-14-3-72-78. – EDN: XBARKD

СОЗДАНИЕ АНКЕТ В СЕРВИСЕ ПО СОЗДАНИЮ, СБОРУ И ХРАНЕНИЮ ОПРОСОВ

Е.А. Матвеевко, к.ф.-м.н., С.В. Митюшкина, Е.И. Ромашева, А.А. Фараонов
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Сбор и хранение информации о внешних проявлениях сейсмических событий, наблюдаемых людьми, является одной из задач Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН. До 2011 г. сбор макросейсмической информации в Камчатском филиале осуществлялся через устный опрос и сбор заполненных бумажных анкет от респондентов. С целью автоматизации этого процесса в 2011 г. в КФ ФИЦ ЕГС РАН был разработан и внедрен в работу макросейсмический Интернет-опросник (<http://www.emsd.ru/Isopool/poll.php>), который повысил удобство сбора макросейсмических данных и позволил перейти к их цифровому хранению [1]. Опросник в неизменном виде используется по настоящее время. С 2016 г. отмечается отсутствие роста сбора макросейсмической информации по отношению к числу ощутимых землетрясений. Для Петропавловска-Камчатского с населением около 180 тыс. человек поступление анкет на события, ощущавшиеся в городе, редко превышает несколько десятков. Причины наличия слабого отклика респондентов – низкая осведомленность населения о существовании опросника и низкая мотивация респондентов к заполнению анкеты, вызванная как устаревшим дизайном опросника, так и отсутствием обратной связи с респондентом.

В 2021 г. началась разработка сервиса, позволяющего создавать анкеты, ориентированные на разные категории респондентов [2]. Сервис предназначен для сбора информации о макросейсмических проявлениях землетрясений, а также позволяет создавать анкеты по произвольной тематике. В 2022 г. в сервисе по созданию, сбору и хранению опросов создано несколько типов анкет для сбора макросейсмических данных. Работа сервиса продемонстрирована на примере создания макросейсмического опросника КФ ФИЦ ЕГС РАН, описан процесс создания анкеты и способ получения данных опроса.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Митюшкина С.В., Токарев А.В., Раевская А.А., Чеброва А.Ю.* Автоматическая обработка макросейсмической информации по камчатским землетрясениям на базе Интернет-опросника // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 376–380. – EDN: VCCXFB
2. *Фараонов А.А., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Ромашева Е.И., Чемарёв А.С.* Сервис по созданию, сбору и хранению опросов // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. [Электронный ресурс]: Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Петропавловск-Камчатский. 26 сентября–2 октября 2021 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 414–417. – doi:10.35540/903258-451.2021.8.79. – EDN: ZQKPEC

СЕРВИС РАСЧЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Е.А. Матвеевко, к.ф.-м.н., А.С. Чемарёв
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Каталог землетрясений характеризуется набором параметров: объем, территория, период, энергия, а также распределение событий по времени, энергии и территории. Вне зависимости, является ли каталог объектом, или результатом работы, все параметры подлежат расчету. Каждый исследователь сам решает проблему расчета, создавая собственный инструмент, или используя инструменты, находящиеся в общем доступе [1]. В обоих случаях необходимы определенные знания и время для получения параметров каталога. Если впоследствии предстоит представление характеристик каталогов, полученных разными исследователями, в одном отчете о научно-исследовательской работе или в журнале, возникает задача однотипного формата представления данных.

Разрабатываемый сервис, на основе загруженного каталога землетрясений, рассчитывает параметры каталога и представляет их в табличном и графическом виде. Работа сервиса продемонстрирована на примере подготовки данных для журнала «Землетрясения Северной Евразии».

Сервис предполагает развитие функционала расчета параметров каталога землетрясений и расширение форматов представления данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Quality control tools for seismic catalogs (qc_report and qc_multi)* // USGS Digital Object Identifier Catalog [Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/software/quality-control-tools-seismic-catalogs-qcreport-and-qcmulti> (дата обращения 03.06.2022). doi: 10.5066/P9JO5N3N

РАЗВИТИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В АНТАРКТИДЕ

А.М. Милехина
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Сейсмологические наблюдения в Антарктиде начались в 1956 г. с установки сейсмической станции «Мирный». В 1961 г. в 3060 км к западу от станции «Мирный» была построена еще одна советская станция – «Новолазаревская». Данные станции были включены в Единую сеть сейсмологических наблюдений СССР, созданную Институтом физики Земли АН СССР. С 1994 г. они входят в телесеismicкую сеть Геофизической службы РАН (ныне ФИЦ ЕГС РАН), главной задачей которой является обеспечение непрерывного мониторинга сейсмоактивных зон земного шара, включая Россию [1]. С 26 декабря 2012 г. станция наблюдения «Мирный» временно законсервирована в связи с отсутствием финансовых ресурсов на ее поддержание.

Уникальное расположение сейсмометров на монолитных выходах коренных пород малосейсмичного материка с низким уровнем шумов позволяет регистрировать сейсмические волны от землетрясений, происходящих на значительных расстояниях от этих станций. Высокочувствительная аппаратура отслеживает и менее интенсивные землетрясения океанического пояса. Землетрясения фиксируются также и на самом материке Антарктида. В последние годы на территории Антарктиды установлено более 20 международных сейсмических станций. Это позволило существенно уточнить сейсмичность на континенте, выделить несколько зон тектонических нарушений. Однако, основная проблема большинства сейсмических станций в том, что они установлены на толстом ледяном покрове. Толстый слой льда искажает форму импульса сейсмической волны, существенно затрудняя как идентификацию фаз вступлений сейсмических волн, так и определение параметров источника их возбуждения. Также частые подвижки ледового покрова приводят к изменениям горизонтальности установки датчиков.

ФИЦ ЕГС РАН считает крайне важным начать развитие российского сегмента сейсмического мониторинга на континенте Антарктида. С этой целью в 2023–2025 гг. планируется восстановить законсервированную сейсмическую станцию «Мирный».

Для уточнения уровня сейсмичности на границах Южноамериканской, Антарктической тектонических плит и плиты Скотия, проведения мониторинга подвижек и процессов трещинообразования и айсбергообразования крупнейшего шельфового ледника Росса необходимо установить сейсмическую станцию в районе антарктической станции «Русская». Эта станция, в том числе, позволит осуществлять мониторинг сейсмичности как в Южно-Тихоокеанской, так и в Южно-Атлантической сейсмогенных зонах. Новая станция увеличит плотность крайне разреженной сети в регионе. А также исследования в области сейсмичности криолитосферы и ее взаимосвязи с динамикой ледяного щита будут представлять интерес для гляциологов и климатологов.

Стратегия развития деятельности РФ в Антарктике до 2030 г. открывает новые возможности по модернизации и расширению сети сейсмических станций и станций ГНСС-наблюдений в Антарктиде. Развитие сейсмологической сети обеспечит получение уникальных научных данных, существенно укрепит престиж российской науки и позволит участвовать в международных исследовательских проектах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Старовойт О.Е., Маловичко А.А., Пойгина С.Г., Бадалян Д.Г., Крумпан В.В., Милехина А.М. Сейсмологические наблюдения в Антарктиде // Российский сейсмологический журнал. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 11–22. – doi:10.35540/2686-7907.2019.1.01. – EDN: CELFYK

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА КАВКАЗА ПО ГНСС НАБЛЮДЕНИЯМ

^{1,2}В.К. Милюков, д.ф.-м.н., ^{1,2}А.П. Миронов, ³А.Н. Овсяченко, к.г.-м.н.,
³А.В. Горбатиков, к.ф.-м.н., ³А.С. Ларьков, к.г.-м.н., ^{4,3}Г.М. Стеблов, д.ф.-м.н.

¹ГАИШ МГУ, г. Москва

²ВНЦ РАН, г. Владикавказ

³ИФЗ РАН, г. Москва

⁴ИТПЗ РАН, г. Москва

Северный Кавказ – это сложный с геодинамической точки зрения регион, который традиционно рассматривается как результат взаимодействия двух крупных литосферных плит – Евразийской и Аравийской. Считается, что сближение этих плит формирует современную геодинамику региона, которая характеризуется продолжающимся образованием складчато-надвиговой структуры, сложной системой разломов, вулканизмом, повышенной сейсмичностью, активными движениями земной коры. Современные высокоточные спутниково-геодезические измерения позволяют проверить эти представления и оценить их на количественной основе.

Анализ ГНСС измерений в период 2016–2021 гг. с использованием данных о глубинном строении и активной тектонике позволил составить общие представления о современной динамике крупнейших морфоструктур Северного Кавказа. Оценки скоростей смещений ГНСС станций в глобальной Международной земной отсчетной основе ITRF2014 показывают согласованное движение структур Большого Кавказа в северо-северо-восточном направлении со скоростью 27–28 мм/год, что подтверждает результаты ранее проводимых исследований. На основе этих оценок получены скорости смещений станций относительно неподвижной Евразии. Количество ГНСС станций на Западном Кавказе позволяет выявить характерные современные горизонтальные движения только на уровне крупнейших тектонических структур.

Более детальный анализ геодинамической обстановки для региона Западного Кавказа и Предкавказья [1] с использованием геодезического профилирования показал, что результаты ГНСС измерений согласовываются с геолого-геоморфологическими данными о кинематике смещений по разломам. Эти данные свидетельствуют о продольном сжатии вдоль окраин горного сооружения Западного Кавказа и растяжении в его осевой части с не менее интенсивными горизонтальными смещениями по поперечным (Туапсинская и Пшехско-Адлерская) и продольным (Монастырский, сегменты Главного Кавказского и др.) системам активных разломов.

Скорости, измеренные в пределах Скифской плиты, по величинам близки к скоростям в горном сооружении Западного Кавказа. Скифская плита на фоне Восточно-Европейской платформы также отличается относительно повышенной современной сейсмической активностью. Зафиксированы аномальные современные смещения в Северо-Азовской зоне, где происходят слабые землетрясения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-55-46007).

ЛИТЕРАТУРА

1. Милюков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н., Горбатиков А.В., Стеблов Г.М., Корженков А.М., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М., Агибалов А.О., Сенцов А.А., Dogan U., Ergintav S. Современные тектонические движения Западного Кавказа и Предкавказья по ГНСС наблюдениям // Геотектоника. – 2022. – № 1. – С. 51–67. – doi:10.31857/S0016853X22010052. – EDN: TNGYLS

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ СРЕДНЕГЛУБИННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ПЕРЕД КРУПНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ ЮЖНО-АЗИАТСКИХ СЕЙСМОФОКАЛЬНЫХ ЗОН

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

С помощью включенного в комплекс методов геодинамического анализа метода расчета крипекс-параметра Cr_{N_cat} [1] исследовано наличие признаков подготовки сильных землетрясений в изменении этого параметра во времени и в пространстве по среднеглубинной сейсмичности. Для выявления пространственных аномалий крипекс-параметра применяется реализованный в GIS-ENDDDB [2] метод построения временной последовательности зональных карт на основе пространственной интерполяции пространственно усредненных значений в узлах регулярной сетки.

Карты усредненного крипекса среднеглубинных землетрясений в области Южно-Азиатского региона за 2000–2016 гг. показывают кратковременные и более устойчивые положительные аномалии, характеризующие влияние на хрупкую субдукцию повышающих крипекс процессов, однако в целом среднеглубинная сейсмичность региона характеризуется отрицательным крипексом.

Перед всеми крупнейшими событиями с $M_S \geq 7.5$ и $H < 50$ км (таких событий в регионе насчитывается 25, некоторые из которых являются парными или множественными), а точнее, за год или два года до каждого из этих событий в 1000-километровой области его подготовки присутствует область повышенного градиента крипекса: краевая граница отрицательной аномалии (иногда повышенной интенсивности) или пограничная область между положительной и отрицательной аномалиями крипекса. В редких случаях, когда землетрясение происходит в области устойчивой положительной аномалии, накануне наблюдается ее исчезновение. При этом графики $Cr_{N_CSN}(t)$ и $M_S(t)$ [3] по среднеглубинной сейсмичности в зонах подготовки крупнейших событий демонстрируют установление синхронной корреляции за нескольких месяцев (иногда за год или два) до события, что говорит о создании в период подготовки землетрясения условий строго детерминированного влияния размера очага на крипекс.

Выявленные пространственные и временные закономерности можно объяснить установлением в период подготовки сильного землетрясения в глубинной части будущего очага организованного состояния среды, создаваемого процессами верхней мантии: условий повышенной гетерогенности среды, где хрупкое разрушение в блоках поддвигающейся коры соседствует с процессами вертикального подъема глубинного мантийного вещества.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0251-2021-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kalinnikov I.I., Mikheeva A.V.* Creepex as a parameter of seismo-geodynamic studies based on geo-information systems // CEUR Workshop Proceedings: Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes. – Novosibirsk, 2021. – P. 194–202.
2. *Mikheeva A.V.* The dynamics of parameters of individual earthquake swarm sequences in different geotectonic settings // Bulletin of the Novosibirsk Computing Center. Series: Mathematical modeling in Geophysics. – 2021. – N 23. – P. 43–56.
3. *Vazhenin A.P., Mikheeva A.V., Dyadkov P.G., Marchuk A.G.* The software using digital databases and GIS interface for detecting geodynamic structures // New Trends in Intelligent Software Methodologies, Tools and Techniques. – IOS Press, 2017. – P. 576–592.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ЗАКОН БОТА В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

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

Используя данные многолетнего сейсмического мониторинга, выполняемого Кировским филиалом АО «Апатит» на месторождениях Хибинского массива [1] с 1996 г., было показано, что распределение разницы магнитуд сильнейшего афтершока и основного толчка зависит от времени и подчиняется динамическому закону Бота, который ранее был получен для тектонических землетрясений [2–4].

Использование сейсмического каталога, представительная магнитуда которого начинается с $M=0$, заполняет пробел между лабораторными исследованиями и тектонической сейсмичностью. Справедливость динамического закона Бота как для тектонических землетрясений, так и для индуцированной техногенной сейсмичности, является дополнительным подтверждением универсальной природы статистических законов сейсмологии (законов Гутенберга-Рихтера [5], закона продуктивности [6] и закона Омори-Утсу [7]).

Полученный результат показывает, что, несмотря на то, что на индуцированную сейсмичность Хибинских апатитовых месторождений влияют взрывы, меняющие локальное поле напряжений, в среднем затухание афтершоков происходит согласно закону Омори-Утсу. Таким образом, подходы к оценке афтершоковой опасности тектонических землетрясений могут быть применены и к случаю техногенной сейсмичности в тектонически нагруженных массивах.

Динамический закон Бота, во-первых, позволит получить среднюю оценку магнитуды будущего сильнейшего афтершока незамедлительно после основного толчка. Во-вторых, этот закон может быть использован как базовая модель при тестировании других моделей для оценки постсейсмической опасности, возникающей в условиях природно-техногенной сейсмичности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gstras.ru/unu/>).

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. – EDN: TMJOWD
2. Baranov S., Narreau C., Shebalin P. Modeling and prediction of aftershock activity // Surveys in Geophysics. – 2022. (In print).
3. Baranov S.V., Shebalin P.N. Forecasting aftershock activity: 3. Bath's Dynamic Law // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. – 2018. – V. 54, N 6. – P. 926–932. – doi:10.1134/S1069351318060022. – EDN: VUZTFQ
4. Bath M. Lateral inhomogeneities of the upper mantle // Tectonophysics. – 1965. – N 6 (2). – P. 483–514. – doi:10.1016/0040-1951(65)90003-X
5. Gutenberg B., Richter C.F. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration: (Second paper) // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1956. – N 2 (46). – P. 105–145.
6. Shebalin P.N., Narreau C., Baranov S.V. Earthquake productivity law // Geophysical Journal International. – 2020. – V. 222, N 2. – P. 1264–1269. – doi:10.1093/gji/ggaa252
7. Utsu T., Ogata Y., Ritsuko S., Matsu'ura. The centenary of the Omori formula for a Decay law of aftershock activity // Journal of Physics of the Earth. – 1995. – V. 43, Is. 1. – P. 1–33. – doi:10.4294/jpe1952.43.1

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ДЛЯ ВРЕМЕННЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ СТАНЦИЙ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

А.В. Мусрепов, Ю.А. Смирнов, А.Н. Соколов
ИГИ НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В районе Западного Казахстана в советский период времени практически отсутствовали регулярные сейсмические наблюдения. Начиная с 1994 г., сейсмическая сеть Института геофизических исследований НЯЦ РК, состоящая из чувствительных сейсмических групп и широкополосных трехкомпонентных станций, начала проводить сейсмический мониторинг на территории Казахстана и в прилегающих районах Центральной Азии. Две станции сети НЯЦ РК расположены в Западном Казахстане. Сейсмическая станция «Актюбинск» (АКТК) начала свою работу в 1994 г. [1], в июле 2005 г. станция «Актюбинск» (АКТО) была включена в Международную систему мониторинга ОДВЗЯИ. Другая стационарная сейсмическая станция «Акбулак» (АВКАР) построена в Западном Казахстане в 2003 г. совместно с АФТАС (США) в целях контроля соблюдения ДВЗЯИ. Станция АВКАР является сейсмической группой, состоит из десяти точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с общей центральной точкой. Радиус большой окружности составляет 2 км, малой – 500 м. Все элементы группы установлены в скважинах глубиной 40–80 м [1].

Одним из эффективных методов оценки чувствительности сейсмических станций является изучение сейсмического шума по записям станции. Для станций АКТО и АВКАР рассчитаны спектральные плотности сейсмического шума, проведено сопоставление с мировыми моделями сейсмического шума Петерсона. Для обеих станций уровень сейсмического шума оказался вблизи нижнеуровневой границы Петерсона [1]. Исследованы сезонные вариации спектральной плотности сейсмического шума.

В 2016 г. с 19 августа по 12 сентября в Мангистауской области прошли полевые работы совместной экспедиции Мичиганского госуниверситета США и ИГИ НЯЦ РК с целью изучения характеристик сейсмического шума для выбора места установки новой сейсмической станции в Западном Казахстане. На территории Мангистауской области были установлены десять сейсмических станций, укомплектованных дигитайзерами Reftek RT130 и широкополосными чувствительными сейсмометрами Guralp CMG-3T. Начиная с 22 сентября 2021 г., работы по выбору места установки сейсмических станций были продолжены. В Мангистауской области Казахстана были установлены восемь широкополосных трехкомпонентных сейсмических станций и две сейсмические группы, состоящие из четырех трехкомпонентных сейсмических станций, укомплектованных дигитайзерами Quanterra и сейсмометрами STS-2.

По данным полевых сейсмических станций рассчитаны спектральные плотности сейсмического шума, проведено сопоставление с мировыми моделями сейсмического шума Петерсона, а также со стационарными сейсмическими станциями АКТО и АВКАР. Выбраны станции с наименьшим уровнем сейсмического шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mikhailova N.N., Sokolova I.N.* Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre. – 2019. – V. 53, Is. 1. – P. 27–38. – doi:10.31905/RK46YGLU

ДИНАМИКА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

^{1,2}Л.И. Надёжка, к.г.-м.н., ¹И.Н. Сафронич, ¹И.А. Сизаск, ^{1,2}А.Е. Семенов
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж
²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

Как известно, микросейсмический шум (МСШ) является суперпозицией волновых полей, вызванных широким спектром источников, как природных, так и антропогенных. К природным источникам относятся геологическое строение, внутренние процессы, происходящие в литосфере, в том числе под влиянием собственных колебаний Земли, лунно-солнечных приливов, метеофакторов и других причин, влияющих на состояние земных недр [1, 2]. Антропогенная составляющая МСШ – это реакция геологической среды на внешние воздействия, как правило, обусловленные хозяйственной деятельностью человека.

Опыт показывает, что интенсивность микросейсмического шума, его спектральный состав и временные вариации зависят, в первую очередь, от геологического строения в пункте наблюдений. Так, по результатам эксперимента установлено, что в районе локальной гранитной интрузии интенсивность МСШ и его спектральный состав значительно отличаются от аналогичных характеристик в районе вмещающих пород (гнейсов) и в районе крупного стабильного мигматического объекта. Но особенно ярко эти отличия проявляются во временных вариациях. В районе интрузии четко наблюдаются суточные вариации горизонтальных компонент уже с частот 0.4–0.8 Гц, а в других пунктах в этом диапазоне частот они отсутствуют.

В диапазоне частот 0.7–1.4 Гц в районе интрузии суточные вариации всех компонент МСШ значительны. Интенсивность горизонтальных компонент в дневное время превышает ночные в 4 раза, а вертикальной – в 2 раза. В районе гнейсов интенсивность на горизонтальных составляющих в дневное время превышает в 1.5 раза ночные уровни, при этом на вертикальной составляющей – незначительно. В районе мигматического объекта суточные вариации в этом диапазоне частот практически не проявляются.

На более высоких частотах, в частности, на частотах 1.5–3.0 Гц, суточные вариации наблюдаются в районе всех станций, за исключением вертикальной составляющей в районе мигматического объекта. Однако соотношение ночного и дневного уровня МСШ в районе всех станций существенно отличается. Так, в районе интрузии отношение день/ночь – более 20 на всех компонентах. В районе гнейсов отношение – около 6.

На основе обобщения большого объема данных по многим районам с различным геологическим строением и состоянием геологической среды установлено, что отношение день/ночь в диапазоне частот 2.0–8.0 Гц, осредненном на достаточно длительном временном интервале, является четким критерием, характеризующим динамическое состояние геологической среды в пункте наблюдения.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Табулевич В.Н.* Комплексные исследования микросейсмических колебаний. – Новосибирск: Наука, 1986. – 149 с.
2. *Надёжка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П., Ефременко М.А.* Сейсмические волновые процессы в нелинейной и неоднородной континентальной литосфере // Волновые процессы в неоднородных и нелинейных средах: материалы семинаров научно-образовательного центра Воронежский государственный университет / Отв. редактор А.С. Сидоркин. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2003. – С. 275–293.

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ ПОДЗЕМНОЙ АНТЕННЫ

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

Подземные электрические антенны – это технические устройства буквально штучного изготовления, под конкретные проекты. Это определяется их применением в токопроводящих, слоистых средах, что заранее предопределяет их неэффективное использование. Но таковы физические законы распространения электромагнитных волн в земле. Не так давно для проведения скважинных георадарных исследований был разработан и изготовлен специализированный георадарный комплекс. Наряду с зондированием околоскважинного пространства, аппаратура позволяет производить межскважинное просвечивание. В такой технологии используются подземные скважинные электрические антенны [1].

В сейсмологии наиболее удачно подземные электрические антенны применяются лабораторией комплексного мониторинга сейсмоактивных сред ИВиС ДВО РАН. На основе комплексных скважинных измерений, данные подаются в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска, а также в Совет по прогнозу землетрясений и извержений вулканов ИВиС ДВО РАН [2].

В докладе будет представлен электромагнитный параметр подземной электрической антенны «монополь», именно этот тип антенн рассматривается, как диаграмма направленности. Диаграммой направленности антенны называется кривая, показывающая зависимость относительных значений напряженности поля, создаваемой антенной в равноудаленных от нее точках, от угловых координат, определяющих направление на эти точки [3]. Всякая антенна обладает направленностью действия: в одних направлениях она принимает лучше, а в других – хуже, либо вовсе не принимает. Для организации правильного использования антенны очень важно отчетливо знать свойства направленного действия антенны. Для любой наземной электрической антенны формы диаграммы направленности давным-давно построены и имеют постоянную конфигурацию. С подземными антеннами все гораздо сложнее: во-первых, электромагнитная волна распространяется в токопроводящей среде, а во-вторых, эта среда не изотропна. Проводимость среды является одной из причин затухания электромагнитных волн. При распространении в проводящей среде электромагнитной волны возбуждаются переменные токи проводимости, что приводит к частичному преобразованию электромагнитной энергии поля волны в джоулево тепло [4]. Все эти факторы влияют на формирование диаграммы направленности антенны.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-2»*. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Версия 2.6. – Раменское: ООО «Логические системы», 2013. – URL: <https://rosgeopribor.com/d/823112/d/tehnicheskoe-opisanie-na-georadary-oko-2.pdf>
2. *Гаврилов В.А., Дещеревский А.В., Власов Ю.А. и др.* Сеть комплексных скважинных измерений Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона: задачи, состав, техническая база измерений, главные результаты за 20 лет исследований // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России [Электронный ресурс]: Труды Восьмой научно-технической конференции с международным участием / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 51–59. – URL: <http://www.emsd.ru/conf2021>
3. *Верещагин Е.М.* Антенны и распространение радиоволн. – М.: Воениздат, 1964. – 238 с.
4. *Семенцов Д.И., Афанасьев С.А., Санников Д.Г.* Основы теории распространения электромагнитных волн: учебное пособие. – Ульяновск: УлГУ, 2012. – 112 с.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

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

В пределах восточной части Оренбургской области по данным сейсмологических сетей ОФИЦ УрО РАН, ФИЦ ЕГС РАН и Республики Казахстан фиксируется большое количество сейсмических событий. Большинство зарегистрированных на территории Центрального и Южного Урала землетрясений имеют тектоническую природу, однако в последнее время повысилось количество сейсмических событий техногенного и природно-техногенного характера, обусловленных деятельностью человека, которая, нарушая динамическое равновесие в массивах горных пород, вызывает и усиливает разрядку накопившихся природных тектонических напряжений.

На востоке Оренбургской области сосредоточено большое количество промышленных и горнодобывающих предприятий. По статистическим данным, с 2006 по 2021 г. на этой территории зафиксировано 12060 сейсмических событий, в среднем – по 750 за год, с магнитудами от 0.9 до 4.6, которые вызывают сотрясения на земной поверхности интенсивностью до 7 баллов по шкале MSK-64 [1].

Восточная часть Оренбургской области по своему расположению входит в состав Уральской разломно-надвиговой провинции и имеет сложное геологическое строение с многочисленными тектоническими нарушениями и естественной сейсмической активностью [2]. Время большей части зарегистрированных сейсмических событий близко со временем проведения взрывных работ, что свидетельствует о наведенной (индуцированной) природе большинства сейсмических событий вследствие разработки месторождений твердых полезных ископаемых, и их расположение согласуется с разломно-блоковым строением земной коры.

Целью настоящих исследований является повышение геодинамической безопасности территории Восточного Оренбуржья за счет выявления влияния промышленных взрывов на сейсмическую активность верхней части земной коры, оценки уровня негативного влияния сейсмических процессов на природно-техногенные объекты и выбора рационального режима эксплуатации разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых.

Выполненный анализ выявил аномальную сейсмическую активность территории восточной части Оренбургской области и уверенную корреляцию между сейсмическими событиями и массовыми технологическими взрывами при добыче твердых полезных ископаемых. Это указывает на необходимость дальнейшего сейсмического мониторинга, проведения научно-исследовательских работ по изучению состояния недр и оценки уровня геодинамических и геоэкологических рисков на территориях с выявленной высокой сейсмической активностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nesterenko M., Tsviak A., Kapustina O., Nesterenko A., Nikiforov S.* Dangerous geodynamic processes of the Eastern Orenburg // E3S Web Conferences. – 2020. – V. 169. – doi:10.1051/e3sconf/202016901016
2. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. – Уфа: ГИЛЕМ, 2000. – 146 с. – EDN: TDGXOJ

НОВЫЙ ПУНКТ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

¹Н.Н. Носкова, к.г.-м.н., ²И.В. Попов
¹ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
²ООО «Полярноуралгеология», г. Сыктывкар

С закрытием в декабре 2018 г. станции «Грива» сейсмические наблюдения на территории Республики Коми выполнялись двумя сейсмическими станциями, что совершенно недостаточно. Станции «Сыктывкар» и «Пожег» ИГ Коми НЦ УрО РАН расположены в одноименных населенных пунктах на юге республики. Поэтому возникла острая потребность открытия новых сейсмостанций и создания примитивной региональной сейсмологической сети.

В июле 2021 г. были организованы экспедиционные рекогносцировочные работы на Приполярном Урале, целью которых являлась установка сейсмической станции [1]. Оставить станцию на продолжительный срок и сделать стационарный пункт наблюдения по ряду причин не получилось. Поэтому после окончания полевых работ было решено поставить станцию в г. Инте. Единственным вариантом места под сейсмостанцию оказалась территория ЗАО «Кожимское РДП» на юго-восточной окраине города. Координаты станции «Инта» с кодом IN0: 66.0125°N, 60.2201°E, $h=71$ м. Станция оснащена короткопериодными сейсмоприемниками СМ-3КВ и цифровым регистратором SDAS (разработка НПП «Геотех+» совместно с ФИЦ ЕГС РАН).

Конечно, при расположении станции в самом городе качество записей оставляет желать лучшего, уровень техногенных помех высокий. Однако, сравнивая статистику по телесеismicким землетрясениям со станцией «Сыктывкар», за десять месяцев работы станцией «Инта» зарегистрировано на 30% больше телесеismicких событий. Повышение уровня микросейсмического фона происходит с мая по октябрь, что связано с общим увеличением хозяйственной деятельности на базе.

Северные районы Республики Коми являются горнодобывающими. Здесь происходят сейсмические события, обусловленные наличием угольных шахт Печорского угольного бассейна, нефтегазовых месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, а также множеством месторождений различных руд и минерально-строительного сырья. Кроме того, северная часть Урала характеризуется рассеянной сейсмичностью. На Полярном, Приполярном и Северном Урале были зарегистрированы землетрясения с магнитудами $ML=3.1-4.6$ [2]. Таким образом, установка сейсмической станции на севере Республики Коми позволит проводить мониторинг природной сейсмичности региона и влияния техногенной нагрузки на геологическую среду.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 1021062211107-6-1.5.6.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Носкова Н.Н., Попов И.В.** Кратковременные сейсмические наблюдения на Приполярном Урале в 2021 году // Вестник геонаук. – 2021. – № 12 (324). – С. 46–51. – doi:10.19110/geov.2021.12.5. – EDN: OGQVJX
2. **Носкова Н.Н.** Новые данные о сейсмичности северной части Урала // Вестник Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2016. – № 3 (255). – С. 3–12. – doi:10.19110/2221-1381-2016-3-3-12. – EDN: VURJSJ

АНАЛИЗ БЮЛЛЕТЕНЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «КУМТОР», КЫРГЫЗСТАН

**К. Омурбек кызы, М. Омуралиев, к.г.-м.н.,
К.Е. Абдрахматов, чл.-корр. НАН КР
ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан**

Уникальное золоторудное месторождение «Кумтор», расположенное на северном склоне Акшийракского хребта, разрабатывается уже более 20 лет открытым взрывным способом. Сейсмические волны взрывов записываются цифровыми сейсмическими станциями сети KRNET («Каракол» – PRZ, «Каджисай» – KDJ) и станцией «Тарагай» (TARG). Количество взрывов в сутки достигает четырех.

Исходными данными исследований являлись карточки взрывов Института сейсмологии НАН КР за январь–декабрь 2020 г. и январь–октябрь 2021 года. Нами изучены скорости сейсмических продольных и поперечных волн, их отношения (V_P , V_S , V_P/V_S), максимальные амплитуды и их отношения (A_P , A_S , A_S/A_P) [1–4]. Скорость сейсмических волн определялась составлением годографов для каждого взрыва.

Соотношение величин V_P , V_S , V_P/V_S выражает состояние среды, а именно: малые значения V_P , V_S , V_P/V_S выражают проявление флюидов; малые значения V_P , V_S , но большое значение V_P/V_S – частичное плавление; большие значения V_P , V_S – относительно высокие давления. В изменении значений скоростей V_P , V_S , V_P/V_S во времени выделяются иерархии циклов (ритмов) вариации [5, 6]. На основании данных скорости поперечных волн и плотности горных пород оценена жесткость среды земной коры.

В заключение можно отметить, что значения скоростей распространения сейсмических продольных и поперечных волн повторных взрывов V_P , V_S и отношения V_P/V_S , а также жесткости земной коры изменяются во времени. Установлена иерархия циклов вариации V_P , V_S , V_P/V_S и жесткости. В этих циклах наблюдаются проявления флюидов, частичного плавления и условий высоких давлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адушкин В.В., Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М.* О динамических процессах во внутренних геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн // Доклады Академии наук. – 2001. – Т. 381, № 6. – С. 822–824. – EDN: KTXPDC
2. *Гамбурцева Н.Г., Люкэ Е.И., Николаевский В.Н. и др.* Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами // Доклады Академии наук СССР. – 1982. – Т. 266, № 6. – С. 1349–1353.
3. *Гамбурцева Н.Г.* Временная изменчивость скоростных свойств среды по данным Семипалатинских ядерных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. – Бишкек: Илим, 2006. – С. 94–104.
4. *Омуралиев М., Омуралиева А.* Явление скачкообразного изменения строения литосферы во время и после крупномасштабного взрыва. – Кыргызпатент, 2011. – № 1616.
5. *Меджитова З.А.* Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. – Бишкек: Илим, 2006. – С. 81–87.
6. *Омуралиев М.* Гармонический анализ параметров сейсмических волн от промышленных взрывов // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. – Бишкек: Илим, 2006. – С. 88–94.

ГЕОДИНАМИКА ОЧАГОВЫХ ЗОН СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АРМЕНИИ

¹Р.А. Пашаян, к.г.н., ¹Д.К. Карапетян, к.г.н.,
²Л.В. Арутюнян, к.г.н., ¹К.Г. Товмасян
¹ИГИС НАН РА, г. Ереван, Армения
²ИОНХ НАН РА, г. Ереван, Армения

В Армении земная кора сейсмически активна от поверхности до глубин 30 км, при этом наибольшее количество очагов землетрясений (около 80%) сосредоточено в слое глубиной 5–20 км, имеются единичные землетрясения с глубиной 30–50 км. Относительно сильные землетрясения занимают более глубокие слои земной коры, а слабые – ближе к поверхности. При рассмотрении картины распределения гипоцентров землетрясений выясняется, что очаги слабых землетрясений связаны со слоями пониженных скоростей, а сильные – со слоями высоких скоростей. Особое место в геологическом строении земной коры Армении занимают глубинные разломы (ГР) [1]. По данным геологии и геофизики выделяются разломы четырех направлений: общекавказского, антикавказского, широтного и меридиального. ГР общекавказского простирания являются наиболее хорошо изученными разломами территории Армении по геологическим и геофизическим данным. Разломы антикавказского направления сравнительно молодые и играют важную роль в проявлении сейсмичности [2]. К сейсмогенным разломам антикавказского простирания относятся параллельные разрывные нарушения. К участкам сочленения этих разломов с разломами общекавказского простирания приурочены очаги наиболее разрушительных землетрясений (Двин, Акори, Гарни, Дигор). Наблюдается миграция очаговых зон сильных землетрясений. Выявлена определенная закономерность в возникновении разрушительных землетрясений на территории Армянского нагорья [3].

Изучение очагов сильных землетрясений проводилось по данным сейсмичности: сейсмогеодинамики очаговых зон и их связи с возникновением сильных землетрясений. Геодинамика сейсмичности определялась как результат движения земной коры с учетом полей напряжений и деформаций. Рассматривались периоды сейсмического затишья, особенности изменения уровня и химического состава подземных вод в связи с подготовкой землетрясений. Проводились исследования геофизических полей в земной коре как показателе геодинамической активности [4]. Учитывались пространственно-временные структуры вариаций отношения V_p/V_s перед сильными землетрясениями Армении. Исходя из блокового строения земной коры территории Армении, определялись динамические параметры блоков земной коры (скорость движения, деформирования, напряженное состояние). Выделялась и изучалась геодинамика зон очагов сильных землетрясений на севере и в центральной части Армении, где в последние годы наблюдается повышение сейсмической активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Назаретян С.Н.* Глубинные разломы территории. – Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1984. – 130 с.
2. *Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И.* Активные разломы и сейсмичность // Природа. – 1989. – № 12. – С. 32–39.
3. *Карапетян Н.К.* Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. – Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1990. – 263 с.
4. *Геофизические поля и сейсмичность* / Отв. ред. Б.С. Вольвовский, Ю.К. Щукин. – М.: Наука, 1975. – 198 с.

СИЛЬНОЕ И ОЩУТИМОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 5 АПРЕЛЯ 2017 Г. С $M_w=6.0$, $I_0=8-9$ БАЛЛОВ В ВОСТОЧНОМ КОПЕТДАГЕ

¹Н.В. Петрова, к.ф.-м.н., ²Л.В. Безменова, ¹А.Д. Курова
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ИСИФА АНТ, г. Ашхабад, Туркменистан

5 апреля 2017 г. в Северо-Восточном Иране, на стыке горных структур Копетдага и Бинадуда, произошло сильное землетрясение с $K_p=14.3$, $M_{SISC}=M_{W_{GCM}}=6.0$. Землетрясение локализовано в необычном месте, где сейсмические события подобной магнитуды не известны – ближайšie сопоставимые или большие по энергии землетрясения датированы 1904 г. ($M_s=6.6$, 46 км к западу от эпицентра) и 765 г. ($M_s=7.5$, 73 км к югу). На Иранской территории оно с максимальной интенсивностью 6 баллов проявилось в г. Горбете Джам (77 км), 5 баллов – в трех населенных пунктах. В Туркменистане ощущались 3-балльные сотрясения в г. Серахсе (101 км) и г. Серхетабаде (190 км).

Исследованию геометрии очага этого землетрясения с использованием пространственного распределения афтершоков, параметров механизма очага и ближайших разломов, методов восстановления модели очага по косейсмическим смещениям поверхности посвящен ряд зарубежных публикаций [1, 2], в большинстве из которых однозначно определена плоскость разрыва северо-западного простирания. Однако мнения авторов относительно направления ее падения расходятся. Большинство данных свидетельствует в пользу северо-восточного падения [2], но есть и свидетельства в пользу ее падения на юго-запад [1].

В данной работе на основе комплексного анализа ориентации ближайших к очагу разломов, механизмов очагов основного толчка 5 апреля 2017 г. и его афтершоков, трехмерной ориентации облака афтершоков подтверждено северо-западное простирание плоскости разрыва, установлено развитие афтершокового процесса вдоль разрыва в юго-восточном направлении, получено юго-западное падение облака афтершоков, противоречащее северо-восточному падению плоскости разрыва в механизме очага основного толчка и свидетельствующее, вероятно, о сложной структуре разлома/системы разломов с различным падением плоскостей, по которым осуществлялись подвижки при главном толчке и афтершоках.

Для афтершоков представительного уровня с $K_p \geq 7.6$, число которых до конца года достигло $N=405$, установлен закон затухания N со временем t (в днях):

$$\lg N = -1.176 \cdot \lg(t) + 2.68. \quad (1)$$

Установлен закон затухания с расстоянием r (км) интенсивности сотрясений I в населенных пунктах:

$$I = 1.5 \cdot M - 3.35 \cdot \lg(r) + 2.38, \quad (2)$$

согласно которому интенсивность в эпицентре оценена в $I=8-9$ баллов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Su Z., Ying-Hui Ya., et al.* Coseismic displacement of the 5 April 2017 Mashhad earthquake (M_w 6.1) in NE Iran through Sentinel-1A TOPS data: new implications for the strain partitioning in the Southern Binalud Mountains // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2019. – V. 169. – P. 244–256. – doi:10.1016/j.jseaes.2018.08.010
2. *Ghayournajarkar N., Fukushima Y.* Determination of the dipping direction of a blind reverse fault from InSAR: case study on the 2017 Sefid Sang earthquake, Northeastern Iran // *Earth Planets Space*. – 2020. – V. 72. – P. 64. – doi:10.1186/s40623-020-01190-6

О СХОДИМОСТИ ОЦЕНОК ЛОКАЛЬНЫХ МАГНИТУД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕГИОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Н.В. Петрова, к.ф.-м.н., А.Д. Курова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В связи с переходом на цифровую регистрацию в конце XX – начале XXI веков в ряде регионов/сейсмических сетей Северной Евразии был осуществлен переход на массовое определение локальной магнитуды ML вместо энергетического класса K слабых и умеренных землетрясений. При этом возникла проблема привязки ML к другим магнитудам или энергетическому классу, используемым при составлении унифицированных каталогов за длительные периоды времени или для больших территорий. В настоящее время для определения локальных магнитуд в разных регионах используются различные калибровочные кривые зависимости максимальных амплитуд S -волн от расстояния. Насколько согласуются между собой определенные таким образом локальные магнитуды?

Для ответа на этот вопрос проанализированы ML по данным сейсмических сетей регионов, где эта магнитуда определяется в массовом порядке: Арктики (сети Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН, далее "KOGSR", и ФИЦ Комплексного исследования Арктики им. Н.П. Лавёрова УрО РАН, далее "FCIAR"), Урала (сети ЦО ФИЦ ЕГС РАН и Горного института Уральского отделения РАН, далее "MIRAS"), Алтае-Саянского региона (сеть Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН, далее "ASGSR"), а также Азербайджана и Армении.

В данной работе проанализированы зависимости региональных и «внутрисетевых» значений ML от «внешней» магнитуды m_{bisc} , определяемой по амплитудам P -волн на телесеизмических расстояниях. С учетом того, что в разные периоды времени в одном и том же регионе могли применяться разные калибровочные кривые, для каждого региона/сети использовались данные за периоды времени с однородной калибровкой ML : для KOGSR – за 2009–2017 гг., $N=372$; для FCIAR – за 2011–2017 гг., $N=231$; для MIRAS – за 2008–2018 гг., $N=41$; для ASGSR – за 2011–2017 гг., $N=350$; для Азербайджана – за 2005–2017 гг., $N=574$; для Армении – за 2014–2017 гг., $N=95$.

Установленные соотношения $ML=f(m_{bisc})$ для всех регионов и сетей, за исключением ASGSR, дают при равных m_{bisc} близкие значения ML слабых землетрясений с $ML \leq 4.5$, с тенденцией увеличения невязок с увеличением магнитуды. Для всех данных, кроме ASGSR, установлено общее уравнение связи:

$$ML = 1.106(\pm 0.021) m_{bisc} - 0.49(\pm 0.081),$$

которое близко к аналогичным соотношениям по данным ряда международных центров и может использоваться при составлении унифицированных каталогов по данным упомянутых регионов/сетей за указанные периоды наблюдений. Причины больших отклонений ML по данным ASGSR от этого соотношения, составляющих $\Delta M = 0.6$ при $m_{bisc} = 4.0$ и $\Delta M = 1$ при $m_{bisc} = 5.5$, будут анализироваться отдельно. Сопоставление известных соотношений между ML и $\lg E$ [1, 2] с опубликованными уравнениями связи между ML и энергетическим классом $K_p = \lg E$ по шкале Т.Г. Раутиан [1] для некоторых исследуемых регионов показало близость анализируемых данных скорее к [2], чем к [1], однако этот вывод требует уточнения на большем объеме данных.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР, № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
2. Gutenberg B., Richter C.F. Magnitude and energy of earthquakes // Annals of Geophysics. – 1956. – V. 9, N 1. – P. 1–15.

ИЗМЕНЕНИЕ ДИНАМИКИ ПРОИЗВОДСТВА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В КРУПНЫХ КАРЬЕРАХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА (2000–2021 ГГ.)

С.П. Пивоваров, И.Т. Ежова, М.А. Ефременко, к.г.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

На территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) функционируют пять крупных промышленных карьеров, в которых добыча полезных ископаемых ведется с применением буровзрывных работ [1]. Мощность одновременно подрываемых зарядов и сама методика производства работ в каждом из карьеров различны. За инструментальный период наблюдений накоплен достаточно большой объем записей зарегистрированных техногенных сейсмических событий.

При обработке локальных и местных сейсмических событий возникает проблема разбраковки и идентификации их по природе. Одними из критериев разбраковки являются координаты очага и время, но эти критерии не дают однозначного решения, так как тектонические или наведенные землетрясения могут происходить в непосредственной близости от места проведения взрывных работ и в любое время суток. В то время, когда получить достоверные сведения от руководства карьера о времени, дате и мощности взрывных работ не представляется возможным, на первый план выходит идентификация событий по совокупности различных критериев. Соответственно, необходимо постоянно следить за динамикой производства буровзрывных работ в каждом промышленном карьере. За достаточно длительный период наблюдений нами накоплен большой фактический материал о динамике производства буровзрывных работ в крупных карьерах, расположенных на территории ВКМ [2]. Были зарегистрированы несколько совпадений практически одновременного подрыва взрывааемых блоков в разных карьерах, что приводит к наложению сейсмических записей, существенно затрудняющих интерпретацию таких событий. Отмечено изменение как в динамике, так и в количестве произведенных промышленных взрывов в крупных карьерах. Так, например, в Железнодорожном карьере в 2000 г. промышленные взрывы производились относительно равномерно, одинаковой мощности и только по одной серии подрыва в день. В 2021 г. динамика производства взрывов в этом карьере существенно изменилась, промышленные взрывы стали производиться только в конце месяца, нескольких серий подрывов в один день и разной мощности.

По нашему мнению, это в совокупности может вызвать увеличение остаточных напряжений в геологической среде, которые могут проявиться в наведенной сейсмичности, неравномерном выбросе продуктов сгорания ВВ, что соответственно приводит к ухудшению экологических условий в ближнем районе добывающего карьера.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России* / Под ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с. – EDN: SHAMBV
2. *Семенов А.Е., Надёжка Л.И., Сафронич И.Н., Ежова И.Т.* Характер и интенсивность сейсмических воздействий горнопромышленных комплексов на литосферу Воронежского кристаллического массива // Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: материалы XXII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции / Под ред. Л.И. Надёжка, Т.Б. Силкиной. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2020. – С. 317–321. – EDN: XYAUPC

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ ПО ДАННЫМ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

¹Н.Н. Полешко, к.г.-м.н., ²С.К. Досайбекова,
¹Б.Б. Бектурганова, ¹Г.М. Мырзагазиева
¹ТОО «ИС», г. Алма-Ата, Казахстан
²ТОО «СОМЭ», г. Алма-Ата, Казахстан

Для территории Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона получены решения механизмов очагов для землетрясений с $K \geq 6$, что позволило наличие здесь плотной сети станций ТОО «СОМЭ», а для Зайсанского и Джамбуло-Чимкентского регионов механизмы очагов определены для землетрясений с $K \geq 8$. Расчет параметров сейсмоструктурной деформации проведен по методу, разработанному Ю.В. Ризниченко [1].

Отмечен существенно неоднородный характер деформирования земной коры Северо-Тянь-Шаньского региона. Наряду с зонами одноосного укорочения широкое распространение получили зоны одноосного удлинения, тогда как по фоновым значениям практически вся территория характеризуется условиями одноосного укорочения (сжатия). Выделение зон с контрастным типом сейсмоструктурного деформирования является весьма важным в связи с определением сейсмической опасности территории. Наиболее вероятными местами возникновения очагов землетрясений являются высокоградиентные границы этих зон [2]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что последние сильные землетрясения региона с магнитудой $M_{PV} \geq 5$ в период 2015–2019 гг. реализовались в соответствии с существующими представлениями вблизи таких границ.

Изучены характеристики механизма очага наиболее сильного землетрясения этого периода с магнитудой $m = 5.4$, реализовавшегося 08.10.2019 г., и закономерности афтершоковой деятельности этого землетрясения. На основе полученных результатов установлена наиболее вероятная плоскость разрыва в очаге. По результатам анализа установлено, что ориентация разрыва в очаге находит соответствие с ориентацией Северо-Кунгейского сброса, к которому приурочен эпицентр землетрясения, тогда как взбросо-сдвиговый тип подвижки в очаге не согласуется с кинематическим типом Северо-Кунгейского сброса, из чего следует отсутствие унаследованности движения в очаге землетрясения неотектоническим движениям по разлому.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ризниченко Ю.В.** Протяженный очаг и сейсмоструктурное течение горных масс // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука, 1976. – С. 236.
2. **Полешко Н.Н.** Механизмы очагов землетрясений и сейсмоструктурная деформация земной коры Северного Тянь-Шаня и Жонгарии: дисс. канд. геол.-мин. наук: 25.00.10: защищена 24.04.2009, утв. 07.10.2009. – Алматы, 2009. – 135 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ВДОЛЬ ОПОРНОГО ПРОФИЛЯ 3-ДВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕСЧЕТА ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН

¹П.О. Полянский, ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ²А.С. Сальников, д.г.-м.н.

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²АО «СНИИГГИМС», г. Новосибирск

В докладе представлены результаты цифровой обработки продольных и поперечных преломленных волн, зарегистрированных системой наблюдений ОГТ на Северо-Западном участке профиля 3-ДВ. Методом динамического пересчета [1] выполнена автоматическая селекция волновых полей продольных и поперечных преломленных волн, подавление волн других типов и случайных помех. Разработан автоматизированный алгоритм контроля областей прослеживания преломленных волн на основе динамического пересчета волнового поля в сейсмограммы общего пункта возбуждения. С использованием алгоритма определены области прослеживания преломленных волн в разных структурах вдоль Северо-Западного участка профиля. По различиям частотных спектров зарегистрированных сигналов и трасс результирующих временных разрезов [2] по всей длине профиля осуществлен автоматизированный контроль эффекта рефракции волн. Северо-Западный участок профиля 3-ДВ пересекает зону сочленения Сибирской платформы и Яно-Колымской складчатой системы. Тектонические структуры меньшего порядка, пересекаемые этим участком – Нижнеалданская впадина, Предверхоаянский прогиб и Сетте-Дабанский блок [3]. Вдоль Северо-Западного участка опорного профиля 3-ДВ построена сейсмическая модель верхней части земной коры (до глубин ~2.5 км). В осадочном чехле Сибирской платформы прослежены две преломляющие границы со слабой рефракцией под ними: на глубине ~1 км зафиксирована преломляющая граница в осадочном чехле – основание Нижнеалданской впадины, на глубине 2.1 км прослежена граница фундамента Сибирской платформы. В осадочном чехле Предверхоаянского прогиба зафиксирована одна преломляющая граница на глубине 1.2 км при скорости продольных волн в покрывающей толще 4.0 км/с и граничной скорости 5.5 км/с. В Сетте-Дабанском блоке на глубине ~1 км зафиксирована преломляющая граница с граничной скоростью 6.4 км/с и коэффициентом рефракции под границей 0.09 км^{-1} . Эта граница рассекает геологические границы складок. В западной части Яно-Колымской складчатой системы на глубине ~1.5 км построена пологая преломляющая граница с граничной скоростью 5.3 км/с и с сильной рефракцией (0.08 км^{-1}). Как и в Сетте-Дабанском блоке, эта преломляющая граница сечет складчатые структуры. Такие преломляющие границы в складчатых областях могут быть интерпретированы как поверхности геологических несогласий.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Коршик Н.А.** Динамический пересчет головных волн при обработке данных сейсморазведки // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 10. – С. 1031–1045. – EDN: JWGKJ
2. **Еманов А.Ф., Полянский П.О., Сальников А.С.** Сейсмическая модель верхней части земной коры юго-восточной границы Сибирской платформы // Физика Земли. – 2021. – № 3. – С. 130–146. – doi:10.31857/S0002333721030054. – EDN: IYPWJS
3. **Прокопьев А.В., Козьмин Б.М., Смелов А.П., Алпатов В.В. и др.** Тектоника, геодинамика и металлогения Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с. – EDN: SWEFCD

УЧКЕНТСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ДАГЕСТАНЕ

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

Рассмотрена сейсмичность района села Учкент – одного из населенных пунктов, расположенных в северо-восточной части Дагестанского клина, где наблюдались максимальные проявления разрушительного воздействия Кизилюртского землетрясения 31.01.1999 г. с $M=5.7$. Ранее авторами проводились исследования фоновой сейсмичности центральной части Дагестанского выступа и области очага землетрясения 14.05.1970 года. С 2004 г. в данной зоне не наблюдалось землетрясений с магнитудой выше $M \geq 4.2$, за исключением события 24.05.2019 г. с $M=4.2$ с эпицентром в с. Кафыр-Кумух Буйнакского района. Сейсмичность по-прежнему остается в пределах фона. Значение коэффициента угла наклона графика повторяемости рассматриваемой области к настоящему времени изменилось также незначительно, $b = -0.72$ [1]. В 2019 г. в окрестностях с. Учкент, расположенного в 35 км северо-западнее Махачкалы, в течение двух месяцев наблюдалась повышенная очаговая активность, которая была изучена на предмет выявления признаков роя. Установлено, что данная последовательность ро-ем не является – каждое событие было самостоятельным явлением, землетрясения имели разные спектральные характеристики, несмотря на концентрацию на небольшой по площади области. В период 2020–2022 гг. район Учкента остается весьма сейсмически активным. Сеть сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН на Северном Кавказе было зарегистрировано более двухсот слабых землетрясений.

В тектоническом плане очаги приурочены к области влияния Пшекиш-Тырны-аузского глубинного разлома и оперяющих его разрывных нарушений разной ориентировки и глубины. Он пересекает с севера фронтальную часть Дагестанского клина, а в районе Кизилюрта и Махачкалы испытывает активное развитие. Большая часть землетрясений данного района возникает под влиянием изменения гидрологического режима Чиркейского водохранилища, очаги этих событий сконцентрированы вдоль его юго-восточного берега в пределах 3–15 км по глубине. Остальные события, гипоцентры которых находятся ближе к Учкенту, рассредоточены и по латерали, и по глубине вдоль регионального разрыва, трассирующего Нараттюбинскую моноклинали, и в зоне пересечения этого разрыва с ориентированным на северо-восток Экибулакским разломом корового заложения. Высокая геодинамическая активность данной области является следствием раздробленности земной коры, обусловленной блоковым строением глубинных структур Дагестанского клина.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарева Н.Л., Ахмедова М.М. Исследование фоновой сейсмичности центральной части Дагестанского клина // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 268–272. – EDN: UIOTCV

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ФОНА В ПЕРИОД МАГНИТНЫХ БУРЬ

Т.А. Протасовицкая, А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., Л.В. Гирина, Л.Л. Пустошило
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Современными исследованиями установлено наличие связи между солнечной активностью и сейсмичностью Земли. Однако недостаточно изучена в этих исследованиях проблема влияния магнитных бурь на микросейсмический фон. Выполненные исследования [1, 2] продемонстрировали резкое возрастание амплитуды и среднеквадратичного отклонения микросейсмического фона после магнитной бури. Полученные данные свидетельствуют о наличии зависимости между амплитудой вариаций магнитного поля и возможным откликом сейсмического фона, который наблюдается с небольшой задержкой по времени. Выполненные расчеты свидетельствуют о высокой значимости корреляции между указанными величинами, причем именно изменение геомагнитного поля влечет изменение микросейсмического фона [3, 4].

В данной работе исследован отклик сейсмического фона на геомагнитные вариации для условий среднеширотной геофизической обсерватории «Плещеницы» Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси. В работе использованы данные синхронных инструментальных наблюдений за сейсмическими колебаниями и вариациями геомагнитного поля. Измерения геомагнитных вариаций выполнялись в специально оборудованном павильоне с использованием феррозондового магнитометра LEMI-022, регистрация сейсмических колебаний проводилась сейсмоприемником Trillium 120Q Nanometrics, сбор и накопление данных осуществлялись с помощью регистратора Centaur. Проведены сопоставления с результатами исследований, проводимых в геофизической обсерватории «Михнево», так как это ближайшая среднеширотная обсерватория.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н.* Солнечные вспышки, вариации сейсмического шума и сейсмический режим северного Тянь-Шаня // Триггерные эффекты в геосистемах. – М.: ГЕОС, 2010. – С. 326–335. – EDN: TWJOFF
2. *Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н.* О геоэффективных солнечных вспышках и вариациях уровня сейсмического // Физика Земли. – 2011. – № 3. – С. 55–71. – EDN: NDIXCP
3. *Рябова С.А., Спивак А.А.* Возмущение сейсмического фона геомагнитными импульсами // Геофизические исследования. – 2017. – Т. 18, № 2. – С. 65–76. – doi:10.21455/gr2017.2-4. – EDN: YSKVWT
4. *Рябова С.А.* Исследование возмущения микросейсмического фона геомагнитными импульсами на среднеширотной обсерватории «Михнево» // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – № 2. – С. 36–43.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОНЛАЙН-АНКЕТИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

^{1,2}Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н., ²О.Ф. Лухнева, к.г.-м.н.,

^{2,3}А.В. Новопашина, к.г.-м.н.

¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

³ИРНТУ, г. Иркутск

В настоящее время в мировой практике для сбора макросейсмических данных широко используется онлайн-анкетирование населения [1]. На территории Восточной Сибири этот метод довольно успешно практикуется с сентября 2008 г. [2]. Сильные сейсмические события, произошедшие в Южном Прибайкалье в 2020–2021 гг., предоставили нечастую возможность оценить эффективность онлайн-анкетирования населения в условиях сравнительно сильного сейсмического воздействия.

Количество сообщений, собранных после Быстринского (21.09.2020 г., $M_w=5.6$), Кударинского (09.12.2020 г., $M_w=5.5$) и Хубсугульского (11.01.2021 г., $M_w=6.8$) землетрясений, исчисляется первыми тысячами (3031, 1433 и 1961 соответственно). Большая часть откликов поступала в первые часы после возникновения землетрясения и содержала свежие, неискаженные впечатления очевидцев. Сопоставление онлайн-анкеты БФ ФИЦ ЕГС РАН с международными системами сбора макросейсмических данных (EMSC и USGS) в целом свидетельствует о более высокой эффективности региональной системы.

Большой объем данных об осязательных эффектах землетрясений открывает дополнительные направления макросейсмических исследований в Восточной Сибири: во-первых, оценка интенсивности сотрясений в пределах отдельных административных районов или микрорайонов крупного города; во-вторых, детальный анализ макросейсмических эффектов, ранее остававшихся вне сферы внимания сейсмологов в силу недостаточности данных; в-третьих, детальные исследования реакции людей на частые сейсмические воздействия, в т.ч. в долгосрочной перспективе.

Таким образом очевидно, что онлайн-анкетирование населения на текущий момент можно считать наиболее эффективным и приоритетным способом сбора макросейсмических данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-05-00823).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Wald D.J., Quitoriano V., Dengler L.A., Dewey J.W.* Utilization of the Internet for rapid community intensity maps // *Seismological Research Letters*. – 1999. – V. 70, N 6. – P. 680–697. – doi:10.1785/gssrl.70.6.680
2. *Радзиминович Я.Б., Хритова М.А., Гилёва Н.А.* Современные способы получения макросейсмических данных и возможности их применения на территории Восточной Сибири // *Вулканонология и сейсмология*. – 2014. – № 6. – С. 59–74. – doi:10.7868/S0203030614060066. – EDN: SXWYMF

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КАМЧАТСКОМ ФИЛИАЛЕ ФИЦ ЕГС РАН

¹А.А. Раевская, ¹Е.А. Матвеевко, к.ф.-м.н., ²А.В. Ландер,
¹И.Р. Абубакиров, к.ф.-м.н., ¹В.М. Павлов, к.ф.-м.н.
¹КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский
²ИТПЗ РАН, г. Москва

В Камчатском филиале Геофизической службы РАН с 1970-х гг. ведутся работы по определению механизмов очагов на основе знаков первых вступлений продольных волн. По мере развития сети сейсмических станций и переоснащения ее цифровой аппаратурой способы расчета механизмов менялись от ручного до автоматизированного. К настоящему времени с помощью программы FA получен каталог механизмов очагов региональных землетрясений с 1970 г., имеющий ряд недостатков, но являющийся единственным однородным и наиболее полным подобным каталогом для Камчатки и Командорских о-вов [1]. Процесс получения каталога механизмов и пользовательский доступ к нему осуществляются в подсистеме «Механизмы» Единой информационной системы сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН [2]. В 2006–2010 гг. на Дальнем Востоке России, в т.ч. на Камчатке, была развернута сеть современных широкополосных цифровых сейсмических станций, что дало возможность определения методом инверсии волновых форм тензора сейсмического момента (ТСМ), объединяющего в себе фокальный механизм и скалярный сейсмический момент. В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН была разработана программа RSMT для расчета ТСМ, апробированная сначала на сильнейших ($M_w \geq 7.5$) землетрясениях Камчатки и Командорских о-вов, а затем адаптированная к региональным событиям произвольной магнитуды [3]. К настоящему времени авторами методики RSMT получен каталог ТСМ за 2010–2019 гг.

В работе даны краткие характеристики используемых методик расчета механизмов очагов и ТСМ, проведен анализ обеспеченности событий из каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов за 1961–2021 гг. определениями механизмов очагов, полученных по программам FA и RSMT, и данными из каталога GСMT. Представлены результаты сравнительного анализа качества определений механизмов, полученных по методикам FA и RSMT, относительно эталонных решений GСMT. Определен объем необходимых работ по пополнению и улучшению качества каталога механизмов Камчатки и Командорских островов, полученного по знакам первых вступлений объемных волн.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванова Е.И., Ландер А.В., Токарев А.В., Чеброва А.Ю., Шевченко С.А.* Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за период 1980–2007 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 74–79. – EDN: VCCUTZ
2. *Чеброва А.Ю., Чемарев А.С., Матвеевко Е.А.* Единая информационная система сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН в 2019 году // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 495–499. – EDN: ZBXIWE
3. *Абубакиров И.Р., Павлов В.М.* Определение тензора момента двойного диполя для землетрясений Камчатки по волновым формам региональных сейсмических станций // Физика Земли. – 2021. – № 3. – С. 45–62. – doi:10.31857/S0002333721030017. – EDN: DWWJTI

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ

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

Уровень представительности регистрируемых землетрясений является важным параметром, характеризующим возможности сейсмометрической сети по мониторингу сейсмической обстановки. Под представительностью обычно понимается нижний энергетический уровень землетрясений, которые могут быть зарегистрированы в заданной пространственной области без пропусков. Следует различать теоретическую представительность и фактическую, наблюдающуюся в действительности. Теоретическая представительность может быть оценена, исходя из уровня сейсмических шумов на станциях регистрации, задаваемого поглощения сейсмических волн средой и необходимого для локации числа сейсмических станций. Такая представительность является параметром сети сейсмических станций и характеризует возможности этой сети с учетом принятых допущений. Не меньший, а, возможно, даже больший интерес представляет оценка фактической представительности, которая будет характеризовать качество получаемого каталога.

Основным допущением при оценке представительности является закон Гутенберга-Рихтера [1], согласно которому распределение числа землетрясений N по энергии имеет степенной характер. При пропусках в регистрации слабых землетрясений характер распределения меняется. В этом случае представительность можно определить как нижнюю границу линейного участка графика повторяемости – энергетический класс K_c или магнитуду M_c .

Используемая в работе методика оценки представительности основана на проверке соответствия распределения числа землетрясений по магнитудам (классам) экспоненциальному закону с заданной статистической значимостью.

В докладе показаны примеры, демонстрирующие некорректность оценок представительности каталога для больших пространственных или временных выборок из каталога. Показано, что такие оценки дают завышенные значения K_c (или M_c), что соответствует худшему качеству каталога по сравнению с реальным. Такой эффект связывается с объединением в один анализируемый объект пространственно-временных участков с различным наклоном графика повторяемости γ (или b -value).

Одним из направлений усовершенствования методики расчета K_c является определение характерных пространственно-временных масштабов вариаций γ . Именно использование единичных выборок из каталога с такими (или меньшими) продолжительностями и протяженностями может дать адекватную оценку качеству получаемого каталога.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Gutenberg R., Richter C.F.** Frequency of earthquakes in California // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1944. – V. 34. – P. 185–188.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ «СОУС'09»: 10 ЛЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА КАМЧАТКЕ

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

Представлена методика «СОУС'09» (статистическая оценка уровня сейсмичности), позволяющая в качественных терминах определить уровень сейсмичности в заданной пространственно-временной области, основываясь на количественном параметре – значении функции распределения сейсмической энергии.

Информация о текущем состоянии сейсмичности отдельного региона является достаточно широко востребованной. В круг заинтересованных лиц входят не только члены сейсмологического сообщества, но и структуры, по роду своей деятельности связанные с мониторингом природной среды [1] (в частности, МЧС, административные структуры). Отдельной проблемой является предоставление информации о землетрясениях населению сейсмоактивных областей.

Учитывая широкий диапазон потребителей такой информации, используемые характеристики должны иметь, с одной стороны, интуитивно понятный смысл, а с другой – их определение должно опираться на количественные параметры сейсмического процесса. Традиционным решением является создание шкал, переводящих числовые показатели в качественные характеристики.

Формализация данной процедуры позволяет избежать ряда неоднозначностей при описании, оценке и сравнении сейсмического режима различных пространственно-временных объемов. Например, при составлении заключений о состоянии или прогнозе сейсмической обстановки многие исследователи используют понятие «сейсмический фон». Как правило, определение «сейсмического фона» не приводится, что ведет к недоразумениям при использовании таких заключений.

Другая проблема связана с выбором параметра, характеризующего уровень сейсмичности. Предлагается для характеристики уровня сейсмичности конкретной пространственно-временной области использовать эмпирическую функцию распределения F суммарной выделившейся сейсмической энергии E . Тогда, задавая пороговые значения F и зная выделившуюся энергию E , можно сделать заключение о повышенной либо пониженной сейсмической активности региона.

Предложена шкала оценки уровня сейсмичности: пять основных градаций и три дополнительных.

Приведены примеры использования методики «СОУС'09» на объектах различного пространственного масштаба в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН и в Камчатском филиале Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений:

- 1 – оценка текущего уровня сейсмичности региона или конкретного объекта (например, вулкан, разлом и т.п.);
- 2 – мониторинг состояния вулканов в целях прогноза их извержений;
- 3 – СОУС-карты различного разрешения.

Отмечены особенности использования данной методики и показаны отдельные ограничения ее применения.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 22.1.06-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования.* – М.: Госстандарт России, 1999. – 16 с.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНОГО КОМПЛЕКСА «МИНСК-МИР»

Н.В. Сасина, к.г.-м.н., А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., О.С. Раецкая, Ю.В. Мартинович
ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) площадки строительства экспериментального многофункционального комплекса «Минск-Мир» (ЭМФК ММ), высотная часть, в г. Минске выполнено методом сейсмических жесткостей (МСЖ) [1].

Основной задачей СМР площадки строительства ЭМФК ММ являлась оценка влияния грунтовых условий верхней части разреза (0–30 м) на сейсмичность, т.е. определение величины поправки балльности (ΔI , балл) к исходной сейсмичности, регламентированной временной картой общего СМР Северной Евразии ОСР-97-D масштаба 1:10000000, где представлена и территория Беларуси. Минск в соответствии с этой картой относится к 7-балльной зоне интенсивности сотрясений по 12-балльной шкале MSK-64.

Для расчетов методом МСЖ использовалась инженерно-геологическая модель, построенная по результатам инженерно-геологических и геофизических изысканий в соответствии с рекомендациями [2]. Структурными элементами этой модели явились инженерно-геологические элементы (ИГЭ), выделенные по результатам статистической обработки инженерно-геологических данных (генезис, литология, физические, физико-механические свойства и пр.). Далее создавались сейсмогеологические модели (СГМ) грунтовой толщи по каждой из пробуренных скважин, включающие в себя мощности ИГЭ, их стратиграфическую привязку и литологическое описание, плотности (ρ , г/см³) и расчетные скорости поперечных волн (V_s , м/с) в соответствии с [1, 2]. Одной из главных физических характеристик СГМ, влияющих на сейсмичность, является сейсмическая жесткость (R , т/м²·с), представляющая произведение V_s на ρ грунта [1, 2]. Рассчитаны средние значения ρ_{30} и средние значения V_{s30} для верхней 30-метровой толщи, что позволило оценить значение R_{30} и в итоге получить оценку приращения ΔI по каждой скважине. В качестве эталонного грунта для расчетов ΔI был выбран ИГЭ-17 – супесь очень прочная ($V_s=294.36$ м/с; $\rho=2.28$ г/см³, $R=671.15$ т/м²·с). Установлено, что основной вклад в приращение балльности здесь вносят большие мощности лессовидных, озерно-аллювиальных и болотных отложений, в составе которых выделяются слабые грунты ИГЭ-5, ИГЭ-22 (суглинок слабый), биогенные ИГЭ-21а (суглинок заторфованный) и ИГЭ-21б (торф).

Основным результатом выполненных работ являются построенные карты СМР площадки строительства (от планировочной отметки и от отметки глубины подошвы котлована). На картах СМР выделены три участка с различной интенсивностью прогнозируемых сейсмических воздействий в баллах сейсмической шкалы MSK-64.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев С.В.* Инженерная сейсмология. – М.: Госстройиздат, 1962. – 284 с.
2. СП 283.1325800.2016 «Объекты строительства повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования». – Введ. 2017-06-17. – М., 2016. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069594>

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТУДЫ M_{w_a} В РИОЦ «ЮЖНО-САХАЛИНСК»

¹Д.А. Сафонов, к.ф.-м.н., ²Е.П. Семенова

¹ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

²СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск

Для обработки землетрясений в региональном информационно-обрабатывающем центре (РИОЦ) «Южно-Сахалинск» используется программный комплекс DIMAS [1], процедуры которого позволяют на основе цифровых записей эмулировать сейсмограмму, приведенную к характеристикам сейсмографа Wood-Anderson, и рассчитать магнитуду M_{w_a} . Определение магнитуды M_{w_a} введено в практику обработки сейсмологических данных РИОЦ «Южно-Сахалинск» в 2014 г., к настоящему времени число определений превышает 12000 для землетрясений с эпицентрами на Дальнем Востоке РФ. При расчете используется максимальное смещение грунта на горизонтальной составляющей и функция затухания в соответствии с [2]. Хотя изначально магнитудная шкала разрабатывалась для коровых землетрясений Калифорнии на эпицентральных расстояниях 10–600 км, M_{w_a} определяется для всех региональных землетрясений всего диапазона глубин, являясь, таким образом, самой массовой энергетической характеристикой землетрясений в каталоге РИОЦ «Южно-Сахалинск».

На основе базы сейсмологических данных РИОЦ «Южно-Сахалинск» сформирована выборка определений M_{w_a} сейсмическими станциями региона в 2015–2021 гг., подпадающими под требования изначальной шкалы, т.е. эпицентрального расстояния 10–600 км. Также при определении магнитуды землетрясений выборки соблюдены условия: глубина гипоцентра ограничена значением 60 км; эпицентрального расстояния превышает оценку глубины; задействовано не менее четырех станций. Получено распределение невязок станционных оценок магнитуды в базовой выборке и за ее пределами в зависимости от расстояния и глубины гипоцентра. Получены станционные поправки, позволившие снизить разброс магнитудных определений по станциям примерно на четверть. Показана стабильность получаемых оценок магнитуды M_{w_a} в пределах требований начальной шкалы, а также за ее пределами с небольшой переоценкой получаемых значений для землетрясений глубже 60 км.

Найдено регрессионное соотношение $M_{w_a}-M_j(JMA)$, показавшее высокую схожесть этих шкал. Это позволило использовать M_j как эталон сравнения определения M_{w_a} вне рекомендованных пределов ее применимости. Получены переходные соотношения между M_{w_a} и другими энергетическими характеристиками землетрясений, применимыми на Дальнем Востоке РФ. К настоящему моменту M_{w_a} является самой массовой магнитудой в практике определений РИОЦ «Южно-Сахалинск», достаточно устойчивой в пределах диапазона $M_{w_a}=2.0-6.0$, а потому может быть рекомендована к применению и включению в каталоги землетрясений СФ ФИЦ ЕГС РАН.

Работа выполнена с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Droznin D.V., Droznina S.Ya.* Interactive DIMAS Program for processing seismic signals // Seismic Instruments. – 2011. – V. 47, N 3. – P. 215–224. – doi:10.3103/S0747923911030054
2. *Richter C.F.* Elementary seismology. – New York: Freeman and Co., 1958. – 768 p.

ГАУССОВСКИЙ БЕЛЫЙ ШУМ И ЭМПИРИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ЕГО ОСРЕДНЕННОГО АМПЛИТУДНОГО СПЕКТРА

И.Н. Сафронич
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Основной задачей исследования являлся анализ вариантов эмпирической оценки осредненного амплитудного спектра (ОАС) смоделированной в процессоре обработки сигнала программы WSG записи Гауссовского белого шума (ГБШ) с дискретизацией 50 *отсч/с* и спектральным составом, отражающим особенности Z-компоненты. Исследование играет важную роль в совершенствовании методики использования микросейсмического шума при решении прикладных задач. Используем последовательный алгоритм обработки [1], включающий разделение записи ГБШ на статистически значимое число фрагментов равной длительности с 50% перекрытием и рассчитываем для них амплитудные спектры (преобразования Фурье, окно Хемминга, сглаживание по семи значениям). Для разного числа спектров последовательных фрагментов получим: осредненный амплитудный спектр и «спектры» максимальных, минимальных, среднеквадратических значений его гармоник. Из их сравнения видно, что полученные «спектры» пропорциональны ОАС. Значения этих масштабирующих коэффициентов (МК) зависят от числа фрагментов. Начиная с 70 фрагментов, изменения их значений происходят плавно. При 100 фрагментах масштабирующие коэффициенты для получения оценок равны: четырем – для среднеквадратической, двум – для минимальной и 1.7 – для максимальной.

Для определения стабильности оценок в рабочей полосе частот использовалось сравнение МК для всех гармоник по среднеквадратическому отклонению и доверительному интервалу. Относительно среднего значения среднеквадратические отклонения для МК разных оценок составляют: 5% – для минимальной, 8% – для среднеквадратической, порядка 20% – для максимальной. Для фрагмента 5-минутной длительности значения доверительных интервалов с уровнем доверия 0.999 – в 20 раз меньше, чем соответствующее среднеквадратическое отклонение, что показывает наличие эмпирической, почти функциональной, связи оценок с ОАС для записи ГБШ.

Это позволяет предположить, что в случае анализа интервала с неизвестной записью, при совпадении «в среднем» всех этих оценок с осредненным амплитудным спектром, т.е. отношения любых оценок в выбранном диапазоне частот близки к значению «1», можно утверждать, что эта запись является ГБШ. А если выбранный интервал записи будет содержать нестационарные помехи (реальная запись), то в тех диапазонах частот, где нет воздействия от помех, их отношения будут оставаться близкими к «1», а в диапазоне частот, где присутствуют составляющие помехи, они будут отличаться. При этом степень различия пропорциональна интенсивности «помехи» на исследуемом интервале записи, что можно использовать для характеристики его как стационарной составляющей (фона), так и нестационарных источников (помех). Стационарную составляющую (минимальную оценку) можно использовать для решения прикладных геофизических задач, а сочетание с нестационарной составляющей (остальными оценками) позволяет также решать эколого-геофизические задачи [1].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафронич И.Н. Методологический подход к расчету числовых параметров антропогенной составляющей сейсмического поля в пункте наблюдения // Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных районов: сборник научных статей / Под ред. И.И. Косиновой. – М.: Издательство «Научная книга», 2022. – С. 105–118.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

¹И.А. Сдельникова, к.ф.-м.н., ^{2,3}Г.М. Стеблов, д.ф.-м.н., ⁴А.А. Саяпина

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²ИТПЗ РАН, г. Москва

³ИФЗ РАН, г. Москва

⁴СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

Методы космической геодезии, основанные на глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС), широко используются для изучения движений земной поверхности и процессов, к ним проводящих [1]. С 1997 г. в рамках программы геодинимических исследований ФИЦ ЕГС РАН при сотрудничестве с международными научными организациями была создана высокоточная референсная континентальная сеть постоянных станций ГНСС на территории Северной Евразии – деформационная сеть Северной Евразии (North Eurasia Deformation Array: NEDA). Станции сети NEDA вошли в состав мировой сети опорных станций. Опорные станции располагаются в стабильных частях нашей земли и обеспечивают отсчетную основу для привязки и последующего анализа измерений в тектонически активных регионах. В тектонически активных районах создаются более плотные сети измерений, позволяющие детально исследовать проявления различных геодинимических процессов, в том числе сейсмических.

Территория Большого Кавказа является одним из сейсмически активных регионов территории Северной Евразии. Для изучения современных движений данного региона в 2010 г. на территории Республики Северная Осетия–Алания была установлена одна из первых постоянных станций ГНСС во Владикавказе. В 2011 г. были созданы еще три станции постоянного наблюдения в населенных пунктах Лац, Ардон и Притеречный. В 2021 г. сеть геодинимических наблюдений дополнена станцией на юго-западе республики в селении Камата, открытой совместно с Владикавказским научным центром РАН.

Таким образом, к настоящему времени собран архив данных за период более 10 лет, который продолжает ежедневно пополняться. Многолетние измерения на постоянных станциях ГНСС позволяют оценить динамику земной коры на различных временных масштабах. Кроме того, привязка к постоянным станциям позволяет уточнять положения пунктов сети геодезических периодически-повторных измерений, выполняемых мобильной аппаратурой измерений ГНСС [2, 3].

Для получения более детальной картины современных движений рассматриваемого региона необходимо сгущать и распространять сеть станций ГНСС. В работе рассматриваются перспективы расширения сети постоянных станций ГНСС на территории Северного Кавказа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стеблов Г.М.* Современная космическая геодезия и системы относимости // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 398, № 6. – С. 815–817. – EDN: OQDVZF
2. *Милюков В.К., Миронов А.П., Рогожин Е.А., Стеблов Г.М.* Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS наблюдениям // Геотектоника. – 2015. – № 3. – С. 56–65. – doi:10.7868/S0016853X15030042. – EDN: TQQUVH
3. *Миронов А.П., Милюков В.К., Стеблов Г.М., Дробышев В.Н., Кусраев А.Г., Хубаев Х.М.* Деформации земной коры в Осетинском регионе Большого Кавказа по данным ГНСС-измерений // Геофизические процессы и биосфера. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 122–137. – doi:10.21455/GPB2021.4-8. – EDN: IWRAIW

СЕЙСМОЛОГИЯ – НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

^{1,2}В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ¹А.В. Лисейкин, к.г.-м.н.
¹СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

В настоящее время востребована технология изучения физического состояния зданий и сооружений, созданная в 2000 г. [1]. С ее использованием уже обследованы большинство сибирских плотин ГЭС, сотни зданий и десятки мостов.

Результаты исследований по выделению слабых сигналов от вибраторов на больших расстояниях показывают, что основная информация содержится не в записях землетрясений, а в сейсмическом фоне. Изучая его, можно контролировать физическое состояние зданий, сооружений и работающего оборудования. При этом анализируется не сейсмическая запись, а ее спектр и спектрально-временные изменения.

Такой подход применялся при изучении аварии 17.08.2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС. В результате пятилетних исследований разработан подход, позволяющий «слушать» и расшифровывать сейсмические записи от работающей ГЭС так же, как музыкант понимает, кто и как играет в оркестре. Запись аварии была зафиксирована сейсμοстанцией, находящейся в 4 км, что позволило определить причины аварии, анализируя только сейсмические данные [2]. Создан специальный комплекс, позволяющий с высоким динамическим диапазоном регистрировать сейсмические колебания и передавать цифровые данные на сервер в обрабатывающий центр. При использовании специального программного обеспечения "SpectrumSeism" выполняется расшифровка получаемой информации. Разработаны десятки способов обработки сейсмических записей, которые легли в основу технологии контроля зданий, сооружений и работающего оборудования. Все они опираются на зарегистрированные сейсмические записи, которые хранятся на серверах неограниченное время. Таким образом удалось проследить за изменениями собственных частот Саяно-Шушенской ГЭС за десятилетия, организовав недорогой мониторинг физического состояния плотины.

При изучении техногенных процессов на шахтах установлено, что при остановке работ количество землетрясений резко сокращается. Проведенный эксперимент с вибратором по оценке выделенной энергии микросейсм во времени в различных полосах частот показывает, что после включения вибратора среда начинает излучать сейсмические колебания сильнее. Анализ графиков повторяемости землетрясений за 40 лет свидетельствует, что вблизи железной дороги, проходящей вдоль озера Байкал, крупных событий происходит меньше, а мелких – больше, по сравнению с территорией вдали от дороги. В Кузбассе, там, где ведутся взрывные работы и работают шахты, землетрясений с малой энергией также стало происходить больше, а с большой магнитудой – меньше [3]. Этим доказана возможность изменения характеристик протекания естественного сейсмического процесса путем воздействия на среду мощными вибрационными нагрузками.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Барышев В.Г., Кузьменко А.П. Способ определения физического состояния зданий и сооружений // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Патент на изобретение № 2140625. Дата регистрации: 27.10.1999. – EDN: EZZJKH
2. Kurzin V.B., Seleznev V.S. Mechanism of emergence of intense vibrations of turbines on the Sayano-Shushensk hydro power plant // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2010. – V. 51 (4). – P. 590–597. – doi:10.1007/s10808-010-0075-1. – EDN: MXEJLP
3. Брыксин А.А., Селезнев В.С. Влияние техногенных факторов на сейсмичность районов Кузбасса и озера Байкал // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 3. – С. 399–405. – EDN: OUNTEF

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ НАИБОЛЕЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

^{1,2}А.Е. Семенов, ¹Э.И. Золототрубова

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

²ФБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

По современным представлениям в структуре Воронежского кристаллического массива выделяются три крупные структуры: Курский и Хоперский мегаблоки и разделяющая их Лосевская шовная зона [1]. Результаты сейсмологических исследований свидетельствуют, что наиболее сейсмически активным является Хоперский мегаблок. Более 90 землетрясений произошли на его территории. В основном, это землетрясения пятого и более низкого энергетического класса. Однако значительная часть землетрясений характеризуется более высоким энергетическим классом ($K_p \geq 6.0$). Наиболее сильные землетрясения произошли 31 марта 2000 г. (Никольское землетрясение с $K_p=10.8$), 26 августа 2004 г. ($K_p=9.0$), 31 марта 2020 г. ($K_p=8.7$). Два первых землетрясения произошли в зоне динамического воздействия Новохоперского глубинного разлома второго ранга в эрозионном срезе докембрия. Никольское землетрясение – в 25 км от него, землетрясение 2004 г. – в 10 км от основного разлома и в 4 км северо-восточнее разлома 5 ранга. Докембрийский фундамент в районе первых двух землетрясений представлен песчано-сланцевой толщей воронцовской серии с широко развитыми интрузиями гранитов бобровского комплекса и габброидов мамонского комплекса. Строение и вещественный состав осадочной толщи в районах землетрясений близок. Он начинается с отложений девона. Оба землетрясения произошли в блоках кристаллической коры гранито-диоритового типа. Мощность коры составляет 45 км. Переход кора–мантия осуществляется через переходный слой мощностью порядка 10 км. В структуре гранитогнейсового слоя выделяется граница на глубине порядка 8.0 км, которая разграничивает этот слой на два слоя с разными значениями плотности и скорости продольных волн ($V_{p1}=5.8$ км/с, $V_{p2}=6.4$ км/с).

Относительно сильное землетрясение произошло 31 марта 2020 года. Его эпицентр приурочен к разлому 5 ранга, который простирается практически параллельно Шумиловско-Новохоперскому разлому на расстоянии 5–8 км от него. Кристаллический фундамент в районе землетрясения представлен верхней и нижней свитой воронцовской серии. Строение осадочного чехла и его вещественный состав близки к разрезу осадочного чехла в районе Никольского землетрясения. Строение кристаллической коры в районе этого землетрясения аналогично строению земной коры в районе описанных ранее землетрясений.

Таким образом, в районе наиболее сильных землетрясений в восточной части ВКМ отмечается однотипный разрез осадочного чехла, эрозионный срез кристаллического фундамента представлен одними и теми же типами пород. Эпицентры всех землетрясений приурочены к разломам высокого порядка. Строение кристаллической коры имеет отличительные черты в районе каждого анализируемого землетрясения, но они не носят принципиального характера. Учитывая результаты проведенного анализа, в пределах Хоперского мегаблока выделена сейсмически активная зона с относительно высоким уровнем современной сейсмической активности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев Н.С., Груздев В.Н., Дубянский А.И. и др. Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным / Отв. ред. Н.М. Чернышов. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2012. – С. 166–222. – EDN: RWKIZR

СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ И ИНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА БАЗЕ АППАРАТУРЫ GEOSIG

Д.Д. Сидоров-Бирюков, О.Г. Разинков, к.ф.-м.н.
ООО НПК «Вулкан», г. Москва

Безопасности эксплуатации любого сложного инженерного сооружения, включая гидротехнические сооружения (ГТС), всегда уделяется особое внимание еще на стадии проектирования. Согласно ГОСТ Р 55260.1.4-2012 [1], в сейсмоопасных районах на ГТС I и II классов должны проводиться сейсмометрические наблюдения. Задача мониторинга обширна и включает в себя не только автоматизированную систему опроса контрольно-измерительной аппаратуры (АСО КИА), но и информационно-диагностическую систему (ИДС), которая решает задачи хранения, обработки и предоставления данных в удобном для конечного пользователя формате информации о состоянии объекта.

С начала 2022 г. современными сейсмометрическими системами были оснащены две ГЭС (Чиркейская и Нурекская в Таджикистане). Данные системы построены на надежном и широко применяемом на ГТС оборудовании производства GeoSIG Ltd (Швейцария) [2] и НПК «Вулкан», предназначенном для непрерывного автоматизированного мониторинга и определения степени воздействия техногенных и природных сейсмических событий на сооружение. Системы оснащены широкополосными форс-балансными акселерометрами АС-73 с низким уровнем собственных шумов и широким динамическим диапазоном 165 дБ, которые совместно с универсальным сейсмическим регистратором GMSplus внесены в реестр средств измерений (регистрационный номер 58045-14) [3]. Сейсмометрические системы обеспечивают не только сбор и хранение получаемых с акселерометров данных, но и оповещение пользователей при помощи светозвуковой сигнализации, выдачу автоматизированных отчетов по заданным критериям, накопление статистических данных. Вторая по высоте в мире плотина Нурекской ГЭС была оборудована комплексной системой сейсмомониторинга [4] с момента ввода в эксплуатацию. Система активно эксплуатировалась на протяжении ряда лет, но к настоящему времени морально устарела. Сейсмометрические датчики и регистраторы были полностью аналоговыми, требовалось постоянное обслуживание свинцово-кислотных АКБ для обеспечения автономности системы, некоторые точки мониторинга были утрачены по причине выхода из строя самого оборудования или кабельных линий.

Модернизированная система – полностью цифровая, передает данные с удаленных точек мониторинга по оптоволоконным линиям и обеспечивает автономную работу в течение 72 часов от необслуживаемых АКБ при отсутствии внешнего питания. Серверная часть включает программное обеспечение, обеспечивающее автоматизированный сбор и обработку данных, а также наглядное предоставление пользователям текущего состояния объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ Р 55260.1.4-2012.** Гидроэлектростанции. Часть 1-4. Сооружения ГЭС гидротехнические. Общие требования по организации и проведению мониторинга. – Вед. 2014-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103581>
2. **Dams. Seismic Instrumentation and Monitoring of Dams** // GeoSIG [Site]. – URL: <https://www.geosig.com/Dams-pg38.aspx>
3. **Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений** [сайт]. – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/371008>
4. **Сейсмический контроль и геодинамика среды района водохранилища Нурекской ГЭС** / Отв. ред. С.Х. Негматуллаев. – Душанбе: Дониш, 1990. – С. 24.

МАСШТАБНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОГО ВЗРЫВА С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

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

В процессе изучения природных феноменов часто возникает потребность выбрать масштаб исследований. В сейсмологии выделяется три основных масштабных уровня познания наблюдаемых явлений: локальный, региональный и телесеismicкий. Четких границ между ними нет, условные рубежи 20 [1] и 500 км [2] соответственно.

При исследовании на каждом из этих уровней требуется свой вид сейсмического оборудования для регистрации колебаний. Конечно, речь может идти об апертуре телесеismicких групп [3], но остановимся только на характеристиках датчиков и регистраторов. Главное, что для нас было важно при этом, – шаг дискретизации сейсмограммы на локальном и региональном масштабах. В первом случае это может быть очень малая величина, вплоть до 1 мс [4]. Во втором – она порой в 50 раз больше. Разумеется, аппаратные различия связаны с тем, что в ближней зоне карьера структура волнового поля потенциально во столько же раз сложнее.

Проводя исследования по оценке общей длительности короткозамедленного взрыва (КЗВ) с помощью вейвлет-анализа [5] в локальном и региональном случае, мы заметили, что данная методика нуждается в калибровке на масштаб. В региональном разрезе наблюдаемый на трансформанте вейвлетограммы эффект длительности КЗВ – это феномен наименьшего порядка, ограниченный в области периодов снизу частотой Найквиста изучаемой записи. В локальном же случае наблюдается несколько еще более короткопериодных явлений, что значительно усложняет выбор нужного из них. В региональном варианте данная проблема практически не появлялась.

В связи с этим после первого успеха при анализе кольских региональных данных мы столкнулись с отдельными промахами на уральских локальных данных. Попутно было замечено, что точность оценки длительности КЗВ может возрастать с удалением от источника. Необходимо продолжать исследования, однако наблюдается острый дефицит сведений о точной схеме инициации зарегистрированных КЗВ.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Влияние трассы на затухание сейсмического сигнала от короткозамедленных карьерных взрывов // Динамические процессы в геосферах. – 2013. – № 4. – С. 118–126. – EDN: TNEJQD
2. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / Под ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – Москва: ГЕОС, 2013. – 384 с. – EDN: SHAMBV
3. Рябенко П.В., Михайлова Н.Н. Эффективность сейсмических станций в мониторинге землетрясений территории Центральной Азии // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 275–280. – EDN: XBXFZC
4. Саплин О.Н., Титов Д.Ю., Шулаков Д.Ю., Гусев А.И. Исследование влияния взрывных работ на безопасную эксплуатацию инфраструктурных объектов горного производства // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2018. – № 1. – С. 66–70. – doi:10.21440/0536-1028-2018-1-66-70. – EDN: YQNGMR
5. Силкин К.Ю. Оценка длительности короткозамедленного взрыва по результатам вейвлет-анализа его записи // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 53–62. – doi:10.35540/2686-7907.2022.1.04. – EDN RXJMPPR

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ УСТАНОВКИ ПРИБОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА НА ПРИМЕРЕ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА

А.Н. Соколов, А.В. Мусрепов, И.Н. Соколова, д.ф.-м.н., Ю.А. Смирнов
ИГИ НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Начиная с 1994 г., на территории Казахстана работает современная сейсмоинфразвуковая сеть Института геофизических исследований (ИГИ) НЯЦ РК [1]. В настоящее время она состоит из пяти сейсмических групп, восьми трехкомпонентных станций и трех инфразвуковых групп. Расположенные в центре Евразии, в районах с низким уровнем сейсмического шума, в основном, на выходах коренных пород, с хорошо подобранным современным высокочувствительным оборудованием, сейсмические станции сети ИГИ прекрасно подходят для осуществления мониторинга на региональных и телесеизмических расстояниях. Кроме тщательного подбора сейсмического оборудования, для снижения уровня сейсмического шума, улучшения дальности регистрации, для повышения эффективности мониторинга огромную роль играют условия установки сейсмического оборудования. Так, большая часть станций сети ИГИ установлена в глубоких скважинах (АКТО, АВКАР, МКАР, ККАР, ВВАР, «Курчатов-Крест»), часть станций – на поверхности (KNDC, PDGK), в штольне (МАКЗ), в бункере (ОТУК) и в глубоких шахтах (KURK и BRVK) [1].

Следует отметить, что сеть ИГИ является продуктом международной кооперации, часть станций входит в глобальные сейсмические сети. Станции АКТО, МКАР, ВВАР и «Курчатов-Крест» входят в состав МСМ ОДВЗЯИ; станции МКАР, АВКАР и ККАР – в глобальную систему мониторинга АFTAC; МАКЗ – в IRIS/GSN; KURK, BRVK/BORK – в состав сети IRIS/IDA. В последние годы станции IRIS/IDA стали устанавливаться в скважинах вместо штолен, шахт и др., причем характеристики оборудования принципиально не изменились. Изменения в 2019 г. коснулись и станций ИГИ KURK и BRVK/BORK.

В связи с этим возникает вопрос, насколько изменилась эффективность регистрации станций, улучшился или ухудшился уровень сейсмического шума, регистрируемого на станции в зависимости от условий установки. Для исследований были выбраны станции, на которых в разные периоды времени сейсмометры были установлены в разных условиях. Были исследованы спектральные плотности сейсмического шума для станций АКТК (установка на поверхности) и АКТО (скважина 65 м), МК32 (поверхность) и МК31 (скважина 61 м), ОТУК на поверхности и в приборном бункере 3 м, KURK в шахте глубиной 3 м и в скважинах 10 и 40 м.

Для каждой станции были рассчитаны и сопоставлены спектральные плотности сейсмического шума до и после модернизации, диапазон вариаций уровня сейсмического шума для дневного и ночного времени. Исследованы количество обработанных событий в сейсмическом бюллетене ЦСОССИ с участием станций, представительный энергетический класс K и дальность регистрации сейсмических событий до и после модернизации. Полученные данные имеют практическую ценность при проектировании сети сейсмических станций в зависимости от задач мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mikhailova N.N., Sokolova I.N.* Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre. – 2019. – V. 53, Is. 1. – P. 27–38. – doi:10.31905/RK46YGLU

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИН ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ПРОФИЛЬНЫХ И ПЛОЩАДНЫХ ГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СИБИРИ

¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ²В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н.,
²А.В. Лисейкин, к.г.-м.н., ³С.В. Шibaев, ⁴В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н., ¹Н.А. Галёва
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
³ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск
⁴БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Сведения о распределении гипоцентров землетрясений в сейсмоактивных зонах несут очень ценную информацию, необходимую при изучении физических процессов в очагах землетрясений, исследовании сейсмического режима региона, оценке сейсмической опасности и изучении глубинного строения. Для сейсмоактивной зоны Сибири (Алтай, Байкальская рифтовая зона, Арктико-Азиатский и Байкало-Становой сейсмические пояса) до 2000 г. фактически были получены лишь общие оценки средних глубин гипоцентров, составляющие для большей части территории 10–20 км, что было связано, главным образом, со значительными расстояниями между регистрирующими станциями, а также аналоговой записью сейсмограмм с невысокой точностью снятия времен вступлений. Наряду с получаемыми в настоящее время детальными данными о гипоцентрах землетрясений по ряду сейсмогенных участков территории Сибири с использованием более детальной сети стационарных станций, групп временных станций и цифровых записей событий, для большей части территории Сибири нет пока хороших полных сведений по распределению гипоцентров. В то же время на территории Сибири в последние два десятилетия в рамках программ Федерального агентства по недропользованию (РОСНЕДРА) развернуты комплексные исследования на опорных тысячекilометровых геолого-геофизических профилях (2-ДВ, 2-ДВ-А, 3-ДВ, 1-СБ, 8-ДВ, 4-СБ) с детальной информацией по глубинному строению земной коры и верхней мантии [1]. Наряду с этим, в ряде регионов с использованием площадных данных ГСЗ и сейсмологии получены сведения о гипсометрическом строении поверхности Мохорovichа и распределении вдоль нее значений граничных скоростей продольных и поперечных волн. С использованием этой детальной дополнительной информации появляется возможность переопределения (и определения) гипоцентров по материалам сейсмологических наблюдений прошлых лет.

В работе представлено тестирование алгоритма определения глубин землетрясений на основе использования времен пробега преломленных волн от границы Мохорovichа (P_n) от афтершоков крупных Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. (с $M_L=6.7$ и 6.8), зарегистрированных как региональной сейсмологической сетью, так и локальной временной группой станций вблизи зоны активизаций. Приведены примеры определения глубин гипоцентров в Якутии в области сочленения Евразийской литосферной плиты с Североамериканской и Охотоморской плитами и в Байкальской рифтовой зоне в створе опорных геофизических профилей 3-ДВ и 1-СБ.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Каиубин С.Н., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Кудрявцев И.В., Андросов Е.А. и др. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 76. – С. 9–21. – EDN: YUKQUX

НЕКОТОРЫЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРА ДОБРОТНОСТИ ЛИТОСФЕРЫ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

С.А. Тарасов, О.А. Усольцева, к.ф.-м.н.
ИДГ РАН, г. Москва

Параметр добротности литосферы (Q) является важной упругой характеристикой среды, описывающей затухание сейсмической энергии за счет рассеяния на неоднородностях и собственного поглощения среды. Балтийский щит интересен для изучения параметров затухания повышенными значениями добротности на фоне всей Восточно-Европейской платформы [1]. Известно несколько подходов к оценке этого параметра, а именно, основанных на отношении спектральных амплитуд различных типов волн, использовании коды поверхностной волны, коды объемных S -волн, математическом моделировании волновых форм и др. Также разработаны методы определения добротности среды, использующие различные типы источников. В данном исследовании использована методика определения параметра Q , позволяющая разделить его на две составляющие: собственное поглощение и рассеяние на неоднородностях среды. В основе метода лежит моделирование фоновое (радиационное) переноса энергии [2]. Расчет ведется с использованием программного кода Radiative3D [3], моделирующего фактически диффузионный перенос энергии в среде, имеющей случайные флуктуации физических свойств через процессы многократного рассеяния в трехмерных моделях Земли. Результаты проведенного моделирования сравнивались с реально наблюдаемой записью сейсмического события, на основе чего делаются предположения о распределении параметров, описывающих детерминированные и стохастические свойства среды. В данной работе использованы данные землетрясения, произошедшего 19 марта 2016 г. в северной части Ботнического залива с $m_b=3.7$. Дополнительно с целью сопоставления результатов выполнен расчет параметра Q методом спектральной инверсии с использованием программы SCATTER [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mitchell B.J., Cong L., Ekstrom G.* A continent-wide map of 1-Hz Lg coda Q variation across Eurasia and its relation to lithospheric evolution // *Journal of Geophysical Research*. – 2008. – V. 113. – B04303. – doi:10.1029/2007JB005065
2. *Shearer P.M., Earle P.S.* The global short-period wave field modelled with a Monte Carlo seismic phonon method // *Geophysical Journal International*. – 2004. – V. 158 (3). – P. 1103–1117. – doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02378.x
3. *Sanborn C.J.* Radiative3D. – 2015. – URL: <http://rainbow.phys.uconn.edu/geowiki/Radiative3>
4. *Сычев И.В.* Сейсмическое затухание как индикатор глубинных геодинамических процессов : дисс. канд. физ.-мат. наук. – Новосибирск: ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», 2020. – 115 с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРА ЯКУТИИ ПО ДАННЫМ ЯФ ФИЦ ЕГС РАН

Р.М. Туктаров, С.В. Шибяев
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск

С 2013 по 2020 г. Якутским филиалом (ЯФ) ФИЦ ЕГС РАН регистрация землетрясений производилась сетью из 20 сейсмических станций. За указанный период времени конфигурация сети не менялась. Сейсмичность Якутии представлена двумя крупными сейсмическими поясами: Байкало-Становым и Арктико-Азиатским. Байкало-Становой сейсмический пояс, протягивающийся от озера Байкал к Охотскому морю, включает собственно Байкальскую рифтовую систему (мониторинг сейсмичности которой осуществляется Байкальским филиалом ФИЦ ЕГС РАН) и расположенную восточнее Олёкмо-Становую сейсмическую зону. Арктико-Азиатский сейсмический пояс по особенностям напряженного состояния земной коры и характеру разрывных нарушений подразделяется на Лаптевоморскую, Хараулахскую сеймотектонические зоны и зону горной системы Черского. Он пересекает северо-восток Азиатского континента от моря Лаптевых к Охотскому морю [1].

Сейсмический мониторинг Арктико-Азиатского сейсмического пояса осуществляется группой арктических станций. Работа по созданию карт представительности землетрясений Якутии осуществляется по методике коллег из Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН [2]. Для каждой станции были сгруппированы бюллетени по энергетическому классу и эпицентральному расстояниям, используя специально созданный алгоритм на языке программирования "Python". В дальнейшем строились графики дальности регистрации землетрясений разных энергетических классов для каждой станции. По графику определяется радиус предельной и надежной регистрации. Радиус надежной регистрации является основным показателем для построения карты представительности, так как он демонстрирует возможность сейсмической станции регистрировать землетрясения различных энергетических классов без пропусков.

На начальном этапе были получены и проанализированы радиусы надежной регистрации для восьми станций Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН: «Тикси», «Столб», «Белая гора», «Артык», «Мома», «Усть-Нера», «Батагай» и «Депутатский». При сопоставимых параметрах регистрирующей аппаратуры, наименьшие радиусы регистрации выявлены для станции «Белая гора». Объяснить это можно расположением станции в области рассеянной слабой сейсмичности. Наибольший радиус определен для станции «Усть-Нера», что объясняется ее близким расположением к крупному региональному разлому Улахан, характеризующемуся высокой сейсмической активностью. В 2013 г. здесь произошло 8-балльное Улахан-Чистайское землетрясение с $K_p=14.8$. В целом, при нанесении на карту кругов регистрации для всех станций следует, что для Арктического сегмента (севернее 62°N) представительным является энергетический класс $K_p=10$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Сеймотектоника Якутии. – М.: ГЕОС, 2000. – 224 с.
2. *Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Курушин Р.А., Масальский О.К.* Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 99–107. – EDN: VBAFWP

СИЛЬНЕЙШЕЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА 5 МАРТА 2022 Г.

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

На территории Мурманской области одной из наиболее сейсмически активных зон является зона Хибинского горного массива. Особенность местных землетрясений связана с их приуроченностью к крупным месторождениям апатит-нефелиновых руд.

До начала 1980-х гг. зона Хибинского массива считалась практически асейсмичной, однако позднее с ростом интенсивности и объемов извлечения горных пород здесь стали отмечаться ощутимые землетрясения [1].

Предприятия, ведущие добычу апатит-нефелиновых руд в Хибинском массиве, обеспечивают прогноз и предупреждение горных ударов посредством ряда инструментов, включая рудничные сейсмологические сети [2, 3].

С 2020 г. Кольский филиал (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН в рамках договора с Кировским филиалом (КФ) АО «Апатит» создал и эксплуатирует автоматизированную систему сейсмологического мониторинга «Восточного рудника» (АССМ ВР), включающего в себя два карьера «Ньоркпахх» и «Коашва». Сеть состоит из 12 сейсмических пунктов, оконтуривающих указанные карьеры.

По результатам многолетних наблюдений в районе «Восточного рудника» КФ АО «Апатит» не отмечалось землетрясений, ощутимых за пределами промышленной площадки предприятия. Однако именно в данном районе Хибинского горного массива 5 марта 2022 г. произошло землетрясение, ставшее сильнейшим за всю историю наблюдений в Хибинах. Это землетрясение было зарегистрировано как локальной рудничной сетью мониторинга (АССМ ВР), так и региональной сетью КоФ ФИЦ ЕГС РАН, а также мировой сетью наблюдений. Оценка магнитуды данного землетрясения варьирует от 3.7 (*ML*) по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН до 4.4 (*m_b*) по данным USGS. Толчки ощущались в ряде населенных пунктов Мурманской области с интенсивностью до 6 баллов по шкале MSK-64.

Эпицентр данного землетрясения находился внутри сети АССМ ВР, благодаря чему его местоположение было определено с высокой точностью, несмотря на тот факт, что на ряде сейсмических пунктов амплитуды поперечных объемных сейсмических волн лежали за пределами динамического диапазона регистрирующей аппаратуры. Таким образом, учитывая точность определения времени в очаге, глубины и координат эпицентра данного события, оно может быть использовано в качестве "ground truth" события для калибровки региональных скоростных моделей, а также уточнения моделей строения земной коры.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Козырев А.А., Панин В.И., Мальцев В.А.* Изменение геодинамического режима при ведении крупномасштабных горных работ на Кольском полуострове // Природопользование в Евро-Арктическом регионе: опыт XX века и перспективы. – Апатиты, 2004. – С. 277–282. – EDN: VRJLOH
2. *Козырев А.А., Панин В.И., Семенова И.Э.* Управление геодинамическими рисками на Хибинских апатитовых рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 12. – С. 347–359. – EDN: NMWISV
3. *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. – EDN: TMJOWD

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА СНЕЖНЫХ ЛАВИН В ХИБИНСКОМ ГОРНОМ МАССИВЕ В 2021–2022 ГГ.

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

В конце ноября 2020 г. Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН был создан первый в России экспериментальный инфразвуковой комплекс для развития методов дистанционного геофизического мониторинга лавинной активности, расположенный в Хибинском горном массиве. Также в зимние сезоны 2021 и 2022 гг. временно разворачивались дополнительные инфразвуковые группы, работавшие параллельно с основным комплексом [1].

Проводимые в течение двух зимних сезонов 2020–2022 гг. исследования позволили испытать выбранные аппаратные и технические решения, а также набрать значительную базу данных целевых сигналов, необходимую для разработки автоматизированной системы обнаружения снежных лавин по записям инфразвуковой группы.

Был создан прототип автоматизированной системы обнаружения сигналов, генерируемых сходом снежных лавин, по данным инфразвуковой группы. Созданный прототип системы позволяет выделять сигналы и по ряду признаков ассоциировать их с лавинной активностью. Все отобранные автоматическим детектором события просматриваются специалистом-интерпретатором, и из их числа выбираются события, соответствующие лавинам по критериям длительности сигнала, изменению обратного азимута на источник, сопоставленному с картой лавинных кулуаров, а также частотным характеристикам. Информация обо всех установленных таким образом фактах предположительного схода лавин, в рамках заключенных соглашений, передается в муниципальный отдел лавинной безопасности г. Кировска, а также в противолавинную службу Кировского филиала АО «Апатит», обеспечивающих лавинную безопасность в определенных районах Хибинского горного массива. В результате такого взаимодействия в большинстве случаев удается обеспечить верификацию получаемых геофизическим методом данных о лавинной активности.

За время работы комплекса было зарегистрировано несколько десятков сигналов, соответствующих сходам снежных лавин. Радиус достоверного обнаружения крупных лавин составил более 3 км, максимальное расстояние – 5 км. Однако для лавин среднего и малого объема, а также для мокрых медленнодвигающихся лавин эффективность обнаружения оказалась несколько ниже. В настоящее время продолжается разработка алгоритмов автоматического распознавания, способных достоверно дифференцировать инфразвуковые сигналы, вызванные сходом снежной массы, от других, в том числе техногенных, источников.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Федоров А.В., Федоров И.С., Воронин А.И., Асминг В.Э.* Мобильный комплекс инфразвуковой регистрации снежных лавин: общий принцип построения и результаты применения // Сейсмические приборы. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 5–15. – doi:10.21455/si2021.1-1. – EDN: RMZZXZ

ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И АФТЕРШОКОВЫЙ ПРОЦЕСС ТОФАЛАРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 6 СЕНТЯБРЯ 2021 Г. ($M_w=5.4$)

^{1,2}А.И. Филиппова, к.ф.-м.н., ^{2,3}А.С. Фомочкина, к.т.н., ⁴Н.А. Гилёва,
^{4,5}Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н., ⁵В.И. Мельникова, д.г.-м.н.

¹ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк
²ИТПЗ РАН, г. Москва

³РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

⁴БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

⁵ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Тофаларское землетрясение ($M_w=5.4$) произошло 6 сентября 2021 г. в районе Восточного Саяна, где ранее за весь период инструментальных наблюдений регистрировались лишь немногочисленные сейсмические события с $M < 4.0$. В данной работе по амплитудным спектрам поверхностных волн [1] были рассчитаны тензор сейсмического момента и глубины гипоцентров Тофаларского землетрясения и его сильнейшего афтершока ($M_w=4.6$). Для основного толчка, также по данным поверхностных волн, вычислены интегральные параметры очага, характеризующие геометрию разрыва и его развитие во времени [2] и собрана вся доступная макросейсмическая информация. Положения эпицентров афтершоков с $M \geq 1.8$ определены по данным региональных сейсмических станций.

В результате было получено, что очаг Тофаларского землетрясения сформировался под влиянием юго-западного–северо-восточного сжатия. Исходя из глубины гипоцентра исследуемого землетрясения (45 км), ориентации его истинной плоскости разрыва ($\text{strike}=120^\circ$), определенной в результате анализа интегральных параметров очага, и имеющихся геологических данных [3], установлено, что данное сейсмическое событие связано с зоной Главного Саянского разлома.

Эпицентрально поле афтершоков Тофаларского землетрясения с $M \geq 1.8$ (31 событие, сентябрь–декабрь 2021 г.) вытянуто на 22 км в северо-восточном направлении относительно эпицентра главного толчка. Примечательно, что северо-восточным простиранием ($\text{strike}=35^\circ$) характеризуется одна из нодальных плоскостей сильнейшего афтершока, фокальный механизм которого существенно отличается от решения, полученного для главного толчка. Все это может свидетельствовать о перераспределении напряжений, вызванных Тофаларским землетрясением, в локальном блоке земной коры, ограниченном мелкомасштабными локальными разломами.

Наибольшая наблюдаемая интенсивность сотрясений при Тофаларском землетрясении, оцениваемая в 4–5 баллов по ШСИ-17, зарегистрирована на расстояниях 60–160 км. Максимальное расстояние, на котором сейсмическое событие было ощутимо (интенсивность сотрясений 3 балла), составило 500 км.

Работа выполнена с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Букчин Б.Г. Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1989. – № 9. – С. 34–41.
2. Букчин В. Determination of stress glut moments of total degree 2 from teleseismic surface wave amplitude spectra // Tectonophysics. – 1995. – V. 248, N 3–4. – P. 185–191. – doi:10.1016/0040-1951(94)00271-A. – EDN: ХОМНРТ
3. Галимова Т.Ф., Пашкова А.Г., Поваринцева С.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-47 – Нижнеудинск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 652 с.

УЧЕТ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ПЛОЩАДКЕ ОИАЭ ПРИ ОБОСНОВАНИИ НЕ ПРЕВЫШЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ПРЕДЕЛОВ КРЕНА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Л.М. Фихиева, к.г.-м.н., А.А. Малофеев, В.В. Меньщикова, Д.Н. Филонов
ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва

Учет современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) на площадке объекта использования атомной энергии (ОИАЭ) при обосновании не превышения проектных пределов крена зданий и сооружений (ЗиС) регламентируется следующим образом.

На стадии инженерных изысканий: на площадке ОИАЭ устанавливается степень опасности СВДЗК по последствиям воздействия на ЗиС ОИАЭ. Внешнее воздействие СВДЗК должно быть учтено в проекте при значениях градиента скорости СВДЗК в пределах 10^{-8} – 10^{-5} 1/год и выше (II и I степени опасности, согласно [1]).

На стадии проекта: в проекте ОИАЭ предусматриваются и обосновываются технические средства и организационные мероприятия, предназначенные для обеспечения стойкости систем и элементов ОИАЭ, важных для безопасности, к влиянию СВДЗК. Градиент скорости СВДЗК приводит к наклону (крену) площадки размещения ОИАЭ, и тем самым вносится дополнительный вклад в крен ЗиС, возникший вследствие неравномерной осадки грунтов оснований. Суммирование этих двух кренов происходит как сложение двух векторов. Максимальный крен ЗиС ОИАЭ возникает при одинаковых направлениях наклона (крена) площадки размещения ОИАЭ за счет СВДЗК и крена фундамента ЗиС за счет неравномерной осадки грунтов основания. И наоборот, если направления составляющих суммарного крена противоположны, то наклон (крен) площадки размещения ОИАЭ за счет СВДЗК компенсирует крен ЗиС ОИАЭ, возникший вследствие неравномерной осадки грунтов основания. Другими словами, в этом случае наклон (крен) площадки размещения ОИАЭ за счет СВДЗК действует как антикрен. На стадии проекта: направление наклона (крена) площадки размещения ОИАЭ за счет градиента скорости СВДЗК учитывается по данным изысканий; направление крена фундамента ЗиС за счет неравномерной осадки грунтов основания не определяется. Однако на стадии проекта ОИАЭ оценка стойкости зданий, сооружений, систем (элементов) ОИАЭ при воздействиях СВДЗК выполняется на основе консервативного подхода. Поэтому при консервативном подходе считается, что направления составляющих суммарного крена совпадают, хотя направление крена фундамента ЗиС за счет неравномерной осадки грунтов основания не определено. В проекте ОИАЭ учитывается «накопительный» характер наклона (крена) площадки размещения ОИАЭ вследствие градиента скорости СВДЗК и отмечается время, когда значение суммарного крена достигнет предельно допустимых нормативных значений.

На стадии ввода в эксплуатацию: по результатам геодезического мониторинга осадки и кренов фундаментов ЗиС ОИАЭ определяется значение и направление крена. Тем самым для каждого ЗиС ОИАЭ уточняется значение и направление суммарного крена с учетом градиента скорости СВДЗК на площадке и оценивается не превышение суммарным креном предельно допустимых нормативных значений (требования п. 3.7 [1]).

На стадии эксплуатации и вывода из эксплуатации ОИАЭ: контроль не превышения проектных предельно допустимых значений крена ЗиС ОИАЭ осуществляется при совместном рассмотрении результатов мониторинга СВДЗК на площадке и геодезического мониторинга осадки и крена фундаментов ЗиС ОИАЭ (требования пп. 6.2 и 6.3 [1]). При достижении наблюдаемыми значениями суммарного крена ЗиС проектных предельно допустимых значений крена ЗиС ОИАЭ определяются и назначаются компенсирующие мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. НП-064-17. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии / Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 ноября 2017 г. № 514.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОЧАГА ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2006 Г. ПО ЗАПИСЯМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

^{1,2}А.С. Фомочкина, к.т.н., ^{1,3}А.И. Филиппова, к.ф.-м.н.

¹ИТПЗ РАН, г. Москва

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

³ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

Олюторское землетрясение ($M_w=7.6$) произошло 20 апреля 2006 г. в Корякском автономном округе в зоне хребтов Корякского нагорья в месте сочленения трех литосферных плит – Североамериканской, Охотоморской и Беринговоморской. Оно является сильнейшим сейсмическим событием региона за всю историю инструментальных наблюдений [1], что во многом обуславливает повышенный интерес к данному землетрясению.

В данной работе рассматривается возможность построения параметров очага данного землетрясения по длиннопериодным записям поверхностных волн. Для этой цели мы используем записи фундаментальных мод Лява и Релея, зарегистрированные станциями сетей IRIS, GEOSCOPE и GEOFON, полученные с помощью сервиса Wilber3 (http://ds.iris.edu/wilber3/find_event).

На первом этапе мы описываем источник в нулевом приближении тензора момента, рассматривая мгновенную точечную сдвиговую дислокацию (двойной диполь) на заданной глубине [2]. На этом этапе мы определяем пять параметров: глубину, фокальный механизм (заданный углами простирания, падения и подвижки) и сейсмический момент.

Затем, анализируя записи на более коротких периодах, мы переходим к определению параметров очага в предположении плоского источника. В этом случае очаг описывается следующими интегральными характеристиками: продолжительностью процесса в очаге, длиной большой оси источника, длиной малой оси источника, скоростью мгновенного центроида, углом между большой осью источника и осью простирания, углом между направлением движения мгновенного центроида и осью простирания [3].

Полученные результаты мы сравниваем с данными, которые предоставляют мировые геофизические службы (ISC, GCMT, NEIC и др.), а также анализируем влияние используемого набора записей на устойчивость полученных решений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 21-77-10070).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Сейсмическая история Корякского нагорья и афтершоковый процесс Олюторского землетрясения 20(21) апреля 2006 г. $M_w=7.6$ // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 2. – С. 16–30. – EDN: LRGCVR
2. Букчин Б.Г. Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1989. – № 9. – С. 34–41.
3. Букчин Б.Г. Описание очага землетрясения в приближении вторых моментов и идентификация плоскости разлома // Физика Земли. – 2017. – № 2. – С. 76–83. – doi:10.7868/S0002333717020041. – EDN: YIUUVIX

ВОЗМОЖНЫЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКИЕ СМЕЩЕНИЯ ЗОН ВЛИЯНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА

Л.А. Хамидов, д.ф.-м.н., Б.Р. Ганиева, С.Г. Анварова
ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Тектонические разрывы Южного Узбекистана являются местом, где происходят перераспределения упругой энергии и деформации земной коры. Концы разрывов на этой территории, обычно заканчивающиеся в пределах тектонического узла или пересечения, являются концентраторами напряжений, и к ним чаще всего приурочены гипоцентры землетрясений [1]. В связи с этим тектоническая активность по линии каждого разрыва в узлах выше, чем в соответствующих дислокациях вне зоны. Исходя из этого, для организации модельных расчетов влияния водохранилищ на деформационно-напряженное состояние среды вблизи лежащих тектонических разрывных структур, в зависимости от интенсивности эксплуатации водохранилищ, использованы модели, разработанные в [1, 2]. Для разработки моделей все параметры разломов были оцифрованы для обеспечения возможности расчета квазистатических смещений в зоне влияния нескольких водохранилищ Южного Узбекистана и затем введены в среду ARC-GIS и MATLAB.

Для территории Южного Узбекистана, где в настоящее время действуют Туполангское, Гиссаракское, Пачкамарское и Чимкурганское водохранилища, их параметры введены отдельными файлами в соответствующем формате модуля в среде MATLAB. Также в модели были введены данные о длине каждого отрезка разломов по азимуту простирания, значении коэффициента Кулона, параметры модуля Юнга и коэффициента Пуассона (как в [2]). Введены также данные по морфологии разломов: сбросы, взбросы, надвиги, сдвиги, возможные глубины разломов по сейсмическим данным (20–60 км). Экспериментальными расчетами выявлено, что в зоне влияния одного водохранилища (например, Туполангского) значение смещений достаточно низко по сравнению с зонами совместного влияния нескольких водохранилищ. Также при расчетах была учтена квазистатическая нагрузка от эксплуатации Туполангского, Гиссаракского, Пачкамарского и Чимкурганского водохранилищ. Расчеты проводились при максимальном давлении в диапазоне 7–12 бар в радиусе 100 км от предварительно заданного фиктивного центра территории. Выявлено, что именно в зоне совместного влияния этих четырех водохранилищ наблюдается самое высокое значение дополнительных смещений (величиной –0.25–8 мм). Анализ изменений гидрологического режима крупных водохранилищ Южного Узбекистана и их возможное влияние на близлежащие тектонические структуры показал, что, если несколько крупных резервуаров, расположенных достаточно близко к тектоническим структурам, одновременно будут иметь максимальное наполнение, то они могут оказать существенное влияние на величину смещений в этих структурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Р., Ибрагимов Ф.И. Модели вариации напряженно-деформированного состояния земной коры основания крупных водохранилищ, влияющих на локальную геодинамику зон их активного влияния // *Seismologiya Muammolari (Проблемы сейсмологии)*. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 52–62.
2. Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г., Жураев Ф.М.У. Квазистатическая количественная модель для расчета напряжений и деформаций земной коры основания крупных резервуаров // *Двадцать вторая уральская молодежная научная школа по геофизике: сборник научных материалов*. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2021. – С. 27–33. – EDN: DADOLO

КИНЕМАТИКА КОЛЕБАНИЙ ПЛОТИН И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ ДВУХ ВОДОХРАНИЛИЩ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНАХ ВЫСОКОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ЗАПАДНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Х.Л. Хамидов, PhD, Ф.И. Иброгимов
ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Чарвакское и Ахангаранское водохранилища расположены в зонах высокого сейсмического риска в регионе Западный Тянь-Шань. Состояние структуры массивов горных пород на этих объектах было определено по кинематическим показателям с помощью сейсмометрических измерений. Интерпретация изменения различных кинематических параметров волнового поля, в первую очередь вызванных микросейсмами, произведена методом оценки изменений волнового поля, который дает возможность выявить внутренние дефекты.

Из более чем 130 землетрясений, зарегистрированных на указанных выше объектах на расстояниях до 100 км, и 27 землетрясений с магнитудой больше 5 на расстояниях до 350 км, для анализа нами были использованы записи 36 землетрясений, наиболее характерно отражающих кинематические показатели смещения. Профили сейсмометрических измерений на плотинах Чарвак и Ахангаран проведены с использованием цифровой сейсмической станции SMG-6TD [1, 2]. Частотная характеристика сейсмометров – равномерная в диапазоне 0.03–50.0 Гц. Определение сейсмических свойств мелкообломочных и крупнообломочных массивов в исследуемой зоне плотин проводилось на основании анализа записей слабых транзитных землетрясений, изучения спектральных характеристик грунтов, анализа записей микросейсм.

Структурное состояние горных массивов плотин Чарвакского и Ахангаранского водохранилищ произведено на основании интерпретации изменения различных кинематических параметров волнового сейсмического поля (в первую очередь микросейсм). Изменения в волновом поле, как правило, помогают выявить дефекты конструкции плотины. Определение амплитудно-частотных характеристик на профилях по каждой из плотин позволили определить частоты естественных колебаний в каждой исследуемой точке и выделить частоты резонанса. На точках профиля измерялись колебания, а при обработке полученных сейсмограмм режимно определялись максимальные амплитуды скорости колебаний – A_{\max} (мм/с), соответствующие им периоды и длительность колебаний. Выявлено, что в зоне Ахангаранского водохранилища эллипс отношения H/V волн Релея меняется с частотой f , соответствующей определенной глубине H исследования.

Отдельно были обработаны записи высокочастотных колебаний на плотинах, вызванных локальными землетрясениями, произошедших в Чаткало-Кураминской горной зоне Тянь-Шаня. Анализ сейсмограмм трехкомпонентных сейсмометров, расположенных в разных местах в теле плотин и береговых склонов Чарвакского и Ахангаранского водохранилищ, при одновременной записи показали, что диапазон изменений V_s изменяется в пределах 523–727 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамидов Х.Л., Иброгимов А.Х., Хамидов Л.А. Современное состояние и результаты сейсмического мониторинга на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 287–296.
2. Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Хамидов Л.А., Иброгимов Ф.И., Анварова С.Г. Кинематика колебания плотины Гиссаракской ГЭС // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – 2021. – № 5. – С. 86–91.

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ АФТЕРШОКОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

М.А. Хритова, к.т.н., Н.А. Гилёва
БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

За последние годы в пределах Байкальской рифтовой зоны зарегистрированы две мощные афтершоковые последовательности: Муяканская активизация с главным толчком 23 мая 2014 г. с $M_w=5.4$, насчитывающая порядка 30 тыс. событий до конца 2015 г.; Хубсугульская последовательность после сильного землетрясения 11 января 2021 г. с $M_w=6.8$ с эпицентром в северной части озера Хубсугул в Монголии, где за первые полмесяца сетью сейсмостанций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН зарегистрировано более 9 тыс. афтершоков ($K_p=6.0-15.7$).

С целью упрощения и ускорения процесса обработки афтершоков сильных землетрясений в БФ ФИЦ ЕГС РАН разработана программа AftershocksBykl [1]. Программа предназначена для получения основных параметров афтершоков (время в очаге, координаты эпицентра, энергетический класс, магнитуда) по непрерывным записям постоянных и временных сейсмических станций в ближней зоне, окружающих очаг.

Основываясь на конфигурации эпицентрального поля, полученной по оперативной локализации наиболее сильных афтершоков, а также на заданном оператором моменте вступления прямой продольной P_g на ближайшей станции, программа находит (с использованием алгоритма STA/LTA) все вступления прямых волн P_g и S_g на окружающих очаг сейсмостанциях ($\Delta < 200-250$ км) и рассчитывает основные параметры землетрясения.

При обработке Хубсугульской последовательности афтершоков программа AftershocksBykl позволяет обрабатывать землетрясения средних энергий с $K_p=5.6-9.5$ (по данным восьми станций). Таких энергий в массе афтершоков – более 95%. При этом представительность обеспечивается для землетрясений с $K_p \geq 6.6$, что вполне приемлемо. За 14 часов 13 января обработаны записи 362 землетрясений с $K_p=5.7-12.6$. 85% из них не требуют корректировки после работы программы, при этом средняя ошибка времени в очаге – 0.6 с, широты – 0.03° , долготы – 0.05° , энергетического класса – 0.5.

Программа AftershocksBykl имеет адаптивный интерфейс, позволяя производить настройку основных параметров под особенности афтершокового процесса. С ее помощью получены первые результаты по обработке афтершоков Хубсугульского землетрясения и Муяканской активизации.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Хритова М.А., Гилёва Н.А. Программа для обработки афтершоков Хубсугульского землетрясения 11 января 2021 года // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов [Электронный ресурс] : Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Петропавловск-Камчатский. 26 сентября – 2 октября 2021 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 418–423. – doi:10.35540/903258-451.2021.8.80. – EDN: VBPAUC

КАМЧАТСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Д.В. Чебров, к.ф.-м.н.

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН ведет сейсмический и геофизический мониторинг Камчатки, данные которого представляют огромный интерес для фундаментальной науки. Землетрясения и извержения вулканов дают ключ к пониманию деталей внутреннего строения Земли и физическим процессам, происходящим в ее глубинах. При проведении детального мониторинга уделяется особое внимание вопросам организации оперативного оповещения органов власти о происходящих опасных явлениях. В составе КФ ФИЦ ЕГС РАН функционируют подразделения, которые выполняют эту обязанность в рамках Службы срочных (сейсмических) донесений (ССД), Службы предупреждения о цунами (СПЦ), службы мониторинга вулканической активности. Кроме того, функционирует Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС), который регулярно формирует комплексные экспертные заключения о сейсмической обстановке на Камчатке.

В последние годы на Камчатке основные усилия были направлены на развитие и модернизацию методов и средств организации наблюдений, сбора и обработки данных, а также на поддержание работоспособности существующих сейсмических станций. В результате был достигнут ряд успехов по созданию информационного пространства, в которое сведены все процессы от сбора данных, их обработки до представления результатов обработки и организации обмена данных с внешними потребителями [1]. Глубокой модернизации была подвергнута система хранения сейсмических данных, обеспечен высокоскоростной доступ к архиву данных, развернуты высокопроизводительные вычислительные кластеры, все сейсмические станции сведены в единую корпоративную сеть. Разработаны новые алгоритмы и созданы программные средства для обработки данных. Несмотря на сложности, все-таки в последние годы развернут ряд новых пунктов наблюдений, а также открыты новые виды наблюдений.

Традиционно сейсмологическое сообщество под «прогнозом» подразумевает непосредственно прогноз землетрясений. Развитие системы наблюдений на Камчатке поставило вопрос о возможности расширения этого понятия на прогнозирование последствий катастрофических событий и создания системы оповещения о них. Подобные сообщения могут быть использованы в подсистеме поддержки управленческих решений Российской единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) после проведения соответствующих работ по сопряжению систем и созданию соответствующей нормативной базы. В результате спасательные службы смогут быстрее и точнее планировать спасательные работы при катастрофических событиях и существенно снизить затраты на проведение обследований при умеренных землетрясениях.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.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. – Т. 21, № 3. – С. 66–91. – doi:10.21455/gr2020.3-5. – EDN: QQHRZU

ПЕРВЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ДАННЫХ О ВСТУПЛЕНИЯХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

А.С. Чемарёв, Е.А. Матвеевко, к.ф.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Зародившись в середине XX в., машинное обучение переживает сейчас волну повторного интереса и развития. Этому способствовали как рост вычислительных возможностей компьютерной техники, так и появление новых методов обучения. Одновременное бурное развитие Интернета, сервисов и средств распределенной разработки привело к появлению множества программных библиотек для создания, обучения и применения моделей машинного обучения. Как следствие, методы машинного обучения стали массово применяться в различных областях [1, 2], и сейсмология не стала исключением [3]. Большое количество научных работ за последние годы, в которых применяется машинное обучение, и широкий спектр решаемых задач [4–6] обуславливают актуальность изучения и использования методов машинного обучения при работе с сейсмологическими данными.

Количество методов и подходов к обучению моделей на текущий момент настолько велико, что вводит в профессиональной среде разделение области машинного обучения на две подобласти – классическое обучение и нейронные сети (глубокое обучение). Последняя пользуется особой популярностью в исследованиях, так как позволяет реализовывать сложную, нетривиальную обработку исходных данных и, как следствие, получать интересные результаты.

В настоящей работе рассматриваются основные понятия машинного обучения, особенности классических моделей. Обучена модель для проверки гипотезы о том, что для определения гипоцентра землетрясения достаточно набора разниц времен вступлений волн на разных станциях. Проведена оценка качества получаемых с помощью модели параметров гипоцентров.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Carniel R., Guzman S.R.* Machine learning in volcanology: A review // Updates in Volcanology – Transdisciplinary Nature of Volcano Science [Internet]. – 2020. – doi:10.5772/intechopen.87815
2. *Nikparvar B., Thill J.-C.F.* Machine learning of spatial data // ISPRS. International Journal of Geo-Information. – 2021. – V. 10. – 600. – doi:10.3390/ijgi10090600
3. *Kong Q., Trugman D.T., Ross Z.E., Bianco M.J., Meade B.J., Gerstoft P.* Machine learning in seismology: Turing data into insights // Seismological Research Letters. – 2018. – V. 91 (1). – doi:10.1785/0220180259
4. *Асминг В.Э., Кременецкая Е.О., Виноградов Ю.А., Федоров А.В.* О применении наивных байесовских классификаторов в сейсмологии // Сейсмические приборы. – 2015. – Т. 51, № 4. – С. 29–40. – EDN: VCYKBV
5. *Licciardi A., Bletery Q., Rouet-Leduc B., et al.* Instantaneous tracking of earthquake growth with elastogravity signals // Nature. – 2022. – V. 606. – P. 319–324. – doi:10.1038/s41586-022-04672-7
6. *Perol T., Charbi M., Denolle M.* Convolutional neural network for earthquake detection and location // Science Advances. – 2017. – V. 4, N 2. – doi:10.1126/sciadv.1700578

НОВЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ ОСЕТИИ–АЛАНИИ

Т.В. Чивиева, А.А. Саяпина
СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

В 2001 г. на территории Республики Северная Осетия–Алания (РСО-Алания) официально была признана и зарегистрирована сеть сейсмологических наблюдений (ССН), которая вошла в ФССН и в настоящее время обслуживается Северо-Осетинским филиалом (СОФ) ФИЦ ЕГС РАН [1]. В целях повышения эффективности решения поставленных перед филиалом задач сеть постоянно развивается и совершенствуется.

В 2019–2021 гг. ССН Северо-Осетинского филиала пополнилась двумя новыми станциями: «Майрамадаг» и «Попов Хутор». Обе станции развернуты в пределах Владикавказской флексурно-разрывной зоны, пересекающей юг республики в субширотном направлении. Сейсмическая активность отмечается в пределах всей зоны, концентрируясь в определенных узлах – основных скоплениях очагов землетрясений. Решение установить сейсмическую станцию на окраине села Майрамадаг было принято в связи с выделением в этой области Майрамадагского очагового узла [2], а также наличием множества энергетически слабых сейсмических событий и роевых последовательностей с ощутимыми землетрясениями. Кроме того, максимальные магнитуды, связанные с этой зоной, оценивались Е.А. Рогожиным $M_{\max}=6.5–7.1$. Установка сейсмостанции «Попов Хутор» обусловлена необходимостью повышения регистрационных возможностей ССН на юге РСО-Алании и в приграничной полосе с Грузией.

Для выбора мест установки станций проводились рекогносцировочные работы, включавшие параллельную установку сейсмического оборудования на двух площадках и оценку уровня их фонового сейсмического шума, а также были использованы результаты сейсмологических наблюдений, выполненных на российском сегменте субмеридионального профиля, созданного в рамках проекта «Глубинное строение и сейсмическая структура Большого Кавказа» [3]. Проведенные исследования показали соответствие инфраструктурным и техническим требованиям, предъявляемым к станциям для получения сейсмических данных.

За период эксплуатации станции показали стабильную работу и получение кондиционной информации, которая направлена на повышение качества сейсмического мониторинга, а также решения геолого-геофизических и инженерно-геологических задач.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Саяпина А.А., Багаева С.С., Горожанцев С.В. Краткая история создания и этапы развития сейсмологической службы в Республике Северная Осетия–Алания (к 80-летию Э.В. Погоды и 20-летию образования СОФ ФИЦ ЕГС РАН) // Вестник Владикавказского научного центра. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 56–65. – doi:10.23671/VNC.2019.2.31378. – EDN: IJMGYN
2. Багаева С.С., Саяпина А.А., Дмитриева И.Ю., Горожанцев С.В., Гричуха К.В. О распределении гипоцентров землетрясений в очаговых зонах центральной части Северного Кавказа в 2018 г. // Вестник Пермского университета. Геология. – 2019. – Т. 18, № 3. – С. 231–236. doi:10.17072/psu.geol.18.3.231. – EDN: BSKCKO
3. Sandvol E.A., Nabelek J.L., Mackey K.G., Malovichko A.A., Dyagilev R.A., Vinogradov Yu.A., et al. Uplift and seismic structure of the Greater Caucasus. Second stage of project // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 3–7. – EDN: HEJGOY

ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ МОЛЕКУЛЯРНО-ЭЛЕКТРОННЫЙ СЕЙСМОМЕТР С ОБЩЕЙ МАССОЙ

¹А.С. Шабалина, к.ф.-м.н., ²В.М. Агафонов, к.ф.-м.н.

¹МФТИ, г. Долгопрудный

²ООО «Р-сенсорс», г. Долгопрудный

Для регистрации слабых землетрясений, сейсмоакустической эмиссии и наблюдением за геодинамическими процессами и медленными деформациями верхней части земной коры необходимо иметь высокочувствительные приборы, способные измерять самые слабые сейсмические сигналы. К сожалению, на данный момент на отечественном рынке не представлена модель сейсмометра, уровень собственных шумов которой находился бы ниже модели низких шумов Петерсона. Использование современных широкополосных сейсмометров лучших мировых производителей (Nanometrics, Guralp, STS и пр.) зачастую ограничивается их высокой стоимостью, невозможностью или затруднительным использованием в полевых условиях (требуется длительная точная юстировка или условия эксперимента несовместимы с требованиями к переноске и условиям эксплуатации), или вследствие геополитических причин.

Данных недостатков лишены широкополосные сейсмометры на основе молекулярно-электронных преобразователей [1]. Благодаря невысокой стоимости и отсутствию в своей конструкции хрупких механизмов, созданные на принципах данной технологии велосиметры уже превосходят в настоящее время конкурентов по ряду параметров и успешно применяются в различных областях. Однако в области сверхмалых движений характеристики молекулярно-электронных широкополосных сейсмометров пока не достигают уровня собственных шумов ниже значения $10^{-8} \text{ м/с}^2/\sqrt{\text{Гц}}$ на частоте 1 Гц. Чувствительность и уровень собственных шумов сенсора ограничены массой столба жидкости, однако значительные увеличения приведенной массы оказываются неэффективными, поскольку пропорционально увеличиваются масса и габариты характеристики прибора [2].

Настоящая работа описывает принципиально новую модель трехкомпонентного сейсмометра, представляющего собой три симметрично расположенных молекулярно-электронных сенсора, оси которых перпендикулярны друг к другу и отклонены на 54° от горизонтальной плоскости, в точке пересечения осей чувствительности которого располагается общая масса ($\sim 2 \text{ кг}$), соединенная с гибкими верхними мембранами сенсоров. Статическое давление общей массы в поле тяжести на мембраны сенсоров уравновешивается пружинами, подвешивающими общую массу и закрепленными другими концами на неподвижной платформе. Благодаря такой конструкции, удастся на порядок увеличить чувствительность каждой компоненты и организовать глубокую электромагнитную обратную связь без каких-либо существенных изменений внешних размеров корпуса серийно выпускаемого трехкомпонентного сейсмометра на основе аналогичных сенсоров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Agafonov V.M., Belotelov K.S., Neeshpapa A.V., Shabalina A.S., Zaitsev D.L.* Broadband molecular electronic seismometers // Proceedings of the 18th Iranian Geophysical Conference, May 2018. – Iran, 2018. – P. 128–130.
2. *Козлов В.А., Сафонов М.В.* Собственные шумы молекулярно-электронных преобразователей // Журнал технической физики. – 2003. – Т. 73, № 12. – С. 81–84. – EDN: RDAPMH

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, ПРЕДВАРЯВШИЕ ЭКСПЛОЗИИ НА ВУЛКАНЕ КАРЫМСКИЙ (П-ОВ КАМЧАТКА) В ФЕВРАЛЕ 2019 Г.

А.А. Шакирова

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Вулкан Карымский (1536 м) – один из активнейших вулканов полуострова Камчатка. Он извергается с 1996 г. по настоящее время с небольшими перерывами в активности [1, 2]. Для извержений Карымского вулкана характерны эксплозии от умеренных до сильных с высотой пепловых облаков ~8 км, что, в первую очередь, представляет опасность для авиации.

С 15 февраля 2019 г. после трехмесячного затишья на вулкане начали происходить эксплозии (фактографическая база данных «Активность вулканов Камчатки» Камчатского филиала (КФ) ФИЦ ЕГС РАН, <http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>), вынос пепла в феврале отмечался до 2.0–3.5 км н.у.м. Пепловые облака отмечались Токийским консультативным центром по вулканическому пеплу на спутниковых снимках (VAAC Tokyo, <https://ds.data.jma.go.jp/svd/vaac/data/index.html>). В это время на сейсмической станции «Карымский» (KRY) КФ ФИЦ ЕГС РАН, установленной на расстоянии 1.5 км от вершины вулкана, регистрировались серии длиннопериодных землетрясений, предварявших эксплозии. Особенностью этих землетрясений была почти постоянная периодичность их возникновения в начале серии с уменьшением временного периода между ними по мере приближения момента эксплозии. После эксплозии периодические землетрясения переставали регистрироваться. В пределах серии землетрясения имели высокие сходства волновых форм. В период 17–23 февраля 2019 г. произошло восемь серий землетрясений, предшествующих эксплозиям. Продолжительность серий составляла от более часа в начале активизации до 4–12 мин. в последних трех сериях. Временной период между землетрясениями T_{cp} от первой серии к шестой уменьшался со 100 до 17 с. В последних двух сериях T_{cp} составил 44 и 32 с. В сериях № 6–8 в результате увеличения количества землетрясений и, как следствие, их наложения друг на друга, перед эксплозией регистрировалось спазматическое дрожание. Наиболее сильные эксплозии в феврале 2019 г., достигшие высот 3–3.5 км н.у.м., регистрировались после серий, в которых амплитуда землетрясений была максимальной. Большая часть энергии всех землетрясений сосредоточена ниже 7.5 Гц с пиками на частотах $f=3.5-4.5$ и $5.0-5.5$ Гц.

Механизм генерации периодических землетрясений на вулкане Карымский в феврале 2019 г. связан с увеличением скорости подъема магматического материала. Прекращение генерации длиннопериодных землетрясений после эксплозии указывает на полный сброс давления в постройке вулкана. Сокращение продолжительности серии землетрясений от первой к восьмой означает, что со временем канал становился более прочищенным, а путь для выхода газа более свободным. Серии длиннопериодных землетрясений могут служить фактором, указывающим на приближающийся момент эксплозии на вулкане Карымский.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gordeev E.I., Droznin D.V., Kasahara M., et al.* Seismic events associated with the 1996 volcanic eruptions in the Karymsky volcanic center // *Volcanology & Seismology*. – 1998. – V. 19, N 5. – P. 713–735. – EDN: RQJKJD
2. *Lopez T., Dehn J., Fee D., Prata F.* Characterization and interpretation of volcanic activity at Karymsky Volcano, Kamchatka, Russia, using observations of infrasound, volcanic emissions, and thermal imagery // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. – 2013. – V. 14, № 12. – P. 5106–5127. – doi:10.1002/2013GC004817. – EDN: SOWLGN

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛЬНЫХ СКЛОНОВ

З.З. Шарафиев
ИДГ РАН, г. Москва

В настоящей работе рассматриваются результаты лабораторных исследований эффекта потери устойчивости лежащего на склоне жесткого блока за счет накопления деформаций под действием субгоризонтальных низкоамплитудных сейсмических колебаний. Для этого использовался метод Ньюмарка, согласно которому оползень не будет инициирован до тех пор, пока не наберется некоторое критическое значение перемещения [1]. Исследования, проведенные в [2], показали, что величину $D=10$ см следует считать консервативной оценкой критического смещения для когерентных оползней. Для камнепадов и лавин критическую величину смещения обычно уменьшают до 2 см.

Модель склона и блок располагались в массивном стальном контейнере размером $40 \times 30 \times 30$ см. Сейсмическое воздействие моделировалось действием вибростенда по боковой поверхности контейнера. Смещение блока контролировалось лазерным датчиком. Установлено, что для динамического обрушения склона необходимы как достаточная величина смещения блока, так и достижение определенной скорости крипа (около 1.5 мм/с) [3].

В зависимости перемещения от времени поступательного перемещения блока нами были выделены участки неустановившейся ползучести, установившейся ползучести, которая эволюционирует либо в стадию ускоряющей ползучести, переходящую в динамическую стадию обрушения, либо в фазу остановки крипа.

В более ранних работах для склоновых процессов эффекты снижения трения обсуждались для крупных лавин с объемами свыше 10^6 м^3 . Однако по полученным результатам показано, что в условиях лабораторных экспериментов на этапе ускоряющей ползучести важнейшим эффектом является снижение трения с ростом скорости. Описание феноменологии этого явления требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Newmark N.M.* Effects of earthquakes on dams and embankments // *Geotechnique*. – 1965. – V. 15, N 2. – P. 139–160. – doi:10.1680/GEOT.1965.15.2.139
2. *Wilson R.C., Keefer D.K.* Predicting areal limits of earthquake-induced landsliding // *Earthquake Hazards in the Los Angeles Region – an Earth-Science Perspective*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1360 / Ed J.I. Ziony. – 1985. – P. 317–345
3. *Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б., Шарафиев З.З.* Лабораторное исследование устойчивости горных склонов при динамических воздействиях // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2021. – № 6. – С. 95–109. – doi:10.15372/FTPRPI20210609. – EDN: OZBJIS

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ

А.Г. Шеболтасов, А.А. Бах, А.Ф. Еманов, д.т.н.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Ограждающие дамбы золошлакоотвалов и хвостохранилищ, плотины, а также другие гидротехнические сооружения (далее ГТС) – промышленные объекты, требующие повышенного уровня безопасности. Их аварии и повреждения представляют большую угрозу не только для человека, но и для окружающей среды, приводят к большим материальным потерям. Нормативные документы в области проектирования, строительства и эксплуатации ГТС, а также надзор со стороны контролирующих органов предусматривают проведение комплекса мероприятий по обеспечению безопасной работы ГТС. К ним относятся тестовые динамические испытания сооружений путем проведения сейсмометрического обследования.

В работе исследованы особенности основных динамических воздействий на ГТС чрезвычайно высокой опасности и высокой опасности (далее – I и II класс опасности) энергетической и добывающей промышленности, а также ГТС I и II класса при расчетной сейсмичности площадки строительства для ПЗ 7 баллов и выше. Целью исследования является получение фактических динамических характеристик ГТС [1].

Наряду с основными источниками динамического воздействия, такими, как автомобильный и железнодорожный транспорт, промышленные взрывы и работа агрегатов, были рассмотрены и второстепенные источники – откалывающиеся пласты льда в чашах ГТС, технологические земляные работы вблизи ГТС. Для оценки динамических воздействий от локальных сейсмических событий использовалась регистрация микросейсм, фоновых колебаний воздействий сооружений и сейсмических волн от взрывов по трем компонентам [2]. Алгоритм обработки сводился к следующим действиям:

- определению максимальных зарегистрированных амплитуд скоростей смещений (v , см/с) от источника динамического воздействия;
- сравнению с расчетной интенсивностью сейсмических сотрясений в баллах шкалы ШСИ-17 ($I_{\text{шси-17}}$, баллы), согласно ГОСТ Р 57546-2017 [3].

В результате были выявлены особенности поведения гидротехнических сооружений и отдельных их частей при различных динамических воздействиях:

- от автомобильного транспорта $v=0.0067-0.0359$, $I_{\text{шси-17}}=1.0-2.0$;
- от железнодорожного транспорта $v=0.0121-0.6184$, $I_{\text{шси-17}}=2.5-4.5$;
- от промышленных взрывов $v=0.0362-0.2033$, $I_{\text{шси-17}}=2.0-3.5$;
- от технологических земляных работ вблизи ГТС и откалывающихся пластов льда в чашах ГТС $v=0.0019-0.0236$; $I_{\text{шси-17}}=1.0-1.5$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *СП 358.1325800.2017*. Сооружения гидротехнические. Правила проектирования и строительства в сейсмических районах. – Введ. 2018-06-27. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550566082>
2. *Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Кузьменко А.П., Гриценко С.А., Сабуров В.А., Данилов И.А., Бах А.А.* Детальные инженерно-сейсмологические исследования зданий и сооружений // Методы изучения, строение и мониторинг литосферы. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 1998. – С. 61–72. – EDN: THMFZV
3. *ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности.* – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146265>

ДЕТАЛЬНЫЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ТЕРРИТОРИИ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

^{1,2}Д.Ю. Шулаков, к.т.н., ^{1,2}Ф.Г. Верхоланцев, ^{1,2}А.С. Зверева

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

²«ГИ УрО РАН», г. Пермь

В настоящее время территория Республики Беларусь является практически асейсмичной, однако исключением из этого правила является район г. Солигорска, где ежегодно регистрируются десятки сейсмических событий с энергетическим классом $K \geq 6$ [1]. Данный регион характеризуется наличием большого количества тектонических разломов и, одновременно, аномально высокой нагрузкой на недра, связанной с интенсивной разработкой Старобинского месторождения калийных солей. Это дает основания утверждать, что в наблюдаемой сейсмичности как минимум значительная роль принадлежит техногенной составляющей.

С геологической точки зрения Старобинское месторождение разделено на два блока (западный и восточный) Краснослободским разломом. В связи с тем, что планировалось пересечение разломной зоны горными выработками, задача контроля сейсмической активности в данном районе приобрела особенную актуальность, поскольку это с большой вероятностью могло привести к активизации геодинамических процессов и создать непосредственную угрозу безопасному ведению горных работ. С целью получения детальной и оперативной информации о динамике сейсмической активности в районе планируемой проходки горных выработок была развернута локальная сеть из четырех сейсмических станций, расположенных на земной поверхности. Для обеспечения максимальной стабильности работы оборудования и минимизации помех были выбраны малопотребляющие регистрирующие модули, работающие в течение длительного времени от сменных аккумуляторных батарей. Характеристики регистраторов и датчиков были подобраны так, чтобы обеспечить максимальный динамический диапазон в целевом интервале частот и амплитуд (частоты – от 2 до 80 Гц, амплитуды – свыше 0.5 мкм/с) [2].

Необходимо отметить, что мониторинговые наблюдения были начаты более чем за два года до того, как горные выработки пересекли разломную зону. Это позволило получить достаточно полное представление об уровне фоновой (природной) сейсмической активности. Было установлено, что в течение первых двух лет уровень сейсмической активности в пределах контролируемой территории был крайне низким, однако после начала активных горных работ произошло ее резкое возрастание. При этом очаги сейсмических событий регистрировались как на уровне горных выработок, так и на значительной глубине, что говорит об активизации имеющихся тектонических разломов. Кроме того, мониторинговой системой зарегистрировано большое количество сейсмических событий «регионального» масштаба, произошедших за пределами контролируемой зоны, но на территории Старобинского месторождения.

Работа выполнена с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аронов А.Г.* Особенности пространственно-временной сейсмической активности в Солигорском горнопромышленном регионе // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 2. – С. 216–222. – doi:10.29235/1561-8323-2019-63-2-216-222
2. *Shulakov D.Y., Verkholantsev F.G., Zvereva A.S.* Detailed seismological monitoring technology based on observations in the Krasnoslobodsky fault zone of the Starobinsk potash deposit (Conference Paper) // European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2020. – doi:10.3997/2214-4609.202051057

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ НАЗВАНИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ

Краткое название организации	Полное название организации	Город
<i>Зарубежные организации</i>		
ИГИ НЯЦ РК	Институт геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан	г. Курчатов, Республика Казахстан
ИГИС НАН РА	Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения	г. Ереван, г. Гюмри, Республика Армения
ИГССС НАНТ	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана	г. Душанбе, Республика Таджикистан
ИОНХ НАН РА	Институт общей и неорганической химии им. М. Манвеляна	г. Ереван, Республика Армения
ИС АН Руз	Институт сейсмологии имени Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан	г. Ташкент, Республика Узбекистан
ИСиФА АНТ	Институт сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана	г. Ашхабад, Республика Туркменистан
ИС НАН КР	Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики	г. Бишкек, Кыргызская Республика
ТОО «ИС»	Товарищество с ограниченной ответственностью «Институт сейсмологии»	г. Алма-Ата, Республика Казахстан
ТОО «СОМЭ»	Товарищество с ограниченной ответственностью «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция»	г. Алма-Ата, Республика 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

Краткое название организации	Полное название организации	Город
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
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
АО «СНИИГГиМС»	Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья»	г. Новосибирск
ВНЦ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр Российской академии наук»	г. Владикавказ
ГАИШ МГУ	Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»	г. Москва
ГоИ КНЦ РАН	Горный институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»	г. Апатиты

Краткое название организации	Полное название организации	Город
«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 Сибирского отделения Российской академии наук	г. Улан-Удэ
ГЦ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геофизический центр Российской академии наук	г. Москва
ИВМиМГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИГ КарНЦ РАН	Институт геологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»	г. Петрозаводск
ИГ Коми НЦ УрО РАН	Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук	г. Сыктывкар
ИГАБМ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук	г. Якутск
ИДГ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер 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
ИМГиГ ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Южно-Сахалинск
ИНГГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИРНТУ	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский университет»	г. Иркутск

Краткое название организации	Полное название организации	Город
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
МФТИ	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»	г. Долгопрудный
ООО «Р-сенсорс»	Общество с ограниченной ответственностью «Р-сенсорс»	г. Долгопрудный
ООО НПК «Вулкан»	Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная компания «Вулкан»	г. Москва
ООО «Полярноурал-геология»	Общество с ограниченной ответственностью Полярно-Уральское производственное геологическое объединение ООО «Полярноуралгеология»	г. Сыктывкар
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
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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдрахматов Канатбек Ермакович
 член-корреспондент НАН КР,
 д-р геол.-мин. наук, проф., директор
 ИС НАН КР,
 г. Бишкек, Кыргызстан
 kanab53@yandex.ru

Абубакиров Искандер Радиевич
 канд. физ.-мат. наук,
 вед. науч. сотр., зав. лаб.
 КФ ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Петропавловск-Камчатский
 air@emsd.ru

Агафонов Вадим Михайлович
 канд. физ.-мат. наук, директор
 ООО «Р-сенсорс»
 г. Долгопрудный
 agvadim@yandex.ru

Акбашев Ринат Рафикович
 науч. сотр.
 КФ ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Петропавловск-Камчатский
 arr@emsd.ru

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

Алёшина Евгения Ильинична
 нач. отд.
 МФ ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Магадан
 evgeniya@memsd.ru

Алиева Анна Владимировна
 мл. науч. сотр.
 ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Махачкала
 annadlomzrd@mail.ru

Анварова Садокат Гайратовна
 мл. науч. сотр.
 ИС АН РУз,
 г. Ташкент, Узбекистан
 sadokat.anvarova@mail.ru

Антонов Илья Александрович
 нач. сектора
 АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Новосибирск
 antonov@gs.nsc.ru

Арапов Виктор Владимирович
 мл. науч. сотр.
 АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Новосибирск
 arapov@gs.nsc.ru

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

Аронов Владислав Аркадьевич
 ст. науч. сотр.
 ЦГМ НАН Беларуси,
 г. Минск, Беларусь
 vladislav@cgm.by

Аронов Геннадий Аркадьевич
 науч. сотр., директор
 ЦГМ НАН Беларуси,
 г. Минск, Беларусь
 aronovg@tut.by

Аронова Татьяна Ивановна
 канд. геол.-мин. наук, зав. отд.
 ЦГМ НАН Беларуси,
 г. Минск, Беларусь
 aronova@cgm.by

Артиков Фарход Рустамович
 ст. науч. сотр.
 ИС АН РУз,
 г. Ташкент, Узбекистан
 farhadbek_uzb@mail.ru

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

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

Асминг Светлана Викторовна
 канд. биол. наук, науч. сотр.,
 уч. секретарь
 КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Апатиты
 asmingSV@krsc.ru

Ассиновская Бэла Александровна Ассиновская Бэла Александровна
 канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
 ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Санкт-Петербург
 assin.bela@gmail.com

Атрохин Владимир Владимирович
 нач. отд.
 МФ ФИЦ ЕГС РАН,
 г. Магадан
 OTON@memsd.ru

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

Бабкова Елена Алексеевна
вед. инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
babkova@gstras.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

Безменова Людмила Викторовна
ст. науч. сотр.
ИСиФА АНТ,
г. Ашхабад, Туркменистан
bezmenova.55@mail.ru

Бектурганова Баян Болатовна
науч. сотр.
ТОО «ИС»,
г. Алма-Ата, Казахстан
bayan_0106@mail.ru

Белов Владимир Сергеевич
науч. сотр. отдела геоэкологии
ОФИЦ УрО РАН,
г. Оренбург
belov-vs@mail.ru

Беседина Алина Николаевна
канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
besedina.a@gmail.com

Болдина Светлана Васильевна
канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
boldina@emsd.ru

Будилов Дмитрий Игоревич
мл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
budilovdmi@gmail.com

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.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
pbg2000@mail.ru

Верхоланцев Александр Викторович
вед. инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
vercholancev@gmail.com

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

Виноградов Юрий Анатольевич
канд. техн. наук, директор
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
yvin@gstras.ru

Владимирова Ирина Сергеевна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
науч. сотр., ст. препод.
МФТИ,
г. Долгопрудный
vladis@gstras.ru

Волчек Инга Михайловна
геофизик 2 кат.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
volchek@cgm.by

Воробьева Инесса Анатольевна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИТПЗ РАН,
г. Москва,
vorobiev@mitp.ru

Воронин Алексей Иванович
вед. электроник
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
Alexivanvor@gmail.com

Габдрахманова Юлия Викторовна
мл. науч. сотр.
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
julia@memsd.ru

Габсатаров Юрий Владимирович

канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр., зав. сект.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
науч. сотр., ст. препод.
МФТИ,
г. Долгопрудный
yuryg@gsras.ru

Габсатарова Ирина Петровна

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

Гаджиев Амир Магомедович

мл. науч. сотр.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
amir@dbgsras.ru

Галёва Наталья Александровна

науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
tatapelya@gmail.com

Ганиева Барно Рустамовна

мл. науч. сотр.
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
barno.rustamovna@mail.ru

Гвишиани Алексей Джерменович

академик РАН, д-р физ.-мат. наук,
науч. руководитель
ГЦ РАН,
г. Москва,
gvi@gcras.ru

Гилёва Надежда Алексеевна

нач. отд.
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
nagileva@crust.irk.ru

Гирин Людмила Владимировна

зав. геофиз. обсерваторией
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
girina@cgm.by

Гладышев Егор Андреевич

мл. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
gladyshhev@gs.nsc.ru

Гоев Андрей Георгиевич

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
andr.goev@gmail.com

Голубева Инга Викторовна

инженер
ФИЦ ЕГС РАН;
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
Golinga1974@gmail.com

Горбатилов Андрей Вениаминович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
avgor70@mail.ru

Громыко Павел Владимирович

науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
gromykov@mail.ru

Гусельцев Александр Сергеевич

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
gouseltsev@secnrs.ru

Дзедобов Борис Аркадьевич

д-р физ.-мат. наук, зам. директора
ГЦ РАН,
г. Москва,
b.dzeboev@gcras.ru

Дзеранов Борис Витальевич

канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ГЦ РАН,
г. Москва,
b.dzeranov@gcras.ru

Досайбекова Самал Кенжебековна

нач. отряда
ТОО «СОМЭ»,
г. Алма-Ата, Казахстан
sdk_0102@mail.ru

Дуленцова Людмила Григорьевна

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
DylencovaL@gsras.ru

Дураченко Алексей Валерьевич

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

Дягилев Руслан Андреевич

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

Егорова Виктория Александровна

млад. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
egorova@cgm.by

Ежова Ирина Трофимовна

инженер-геофизик
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Еманов Александр Федорович

д-р техн. наук, директор
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
emanov@gs.nsc.ru

Еманов Алексей Александрович

канд. геол.-мин. наук, зам. директора
АСФ ФИЦ ЕГС РАН;
ст. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
alex@gs.nsc.ru

Ершов Ренат Альбертович

мл. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
erшов@gs.nsc.ru

Ефременко Марина Алексеевна

канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
2880@mail.ru

Жукова Светлана Александровна

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ГоИ КНЦ РАН;
ст. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
svetlana.zhukova@yandex.ru

Завьялов Алексей Дмитриевич

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

Захаревич Ольга Васильевна

геофизик 1 кат.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
zaharevich@cgm.by

Зверева Анастасия Сергеевна

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН;
инженер
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
zvereva.as59@gmail.com

Золототрубова Элеонора Ивановна

инженер 1 кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@geophys.vsu.ru

Зуева Ирина Александровна

науч. сотр.
ИГ КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск
ek92wa@mail.ru

Иброгимов Фахриёр Исмоил ўгли

мл. науч. сотр.
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
ibragimovfahriyor4@gmail.com

Иванов Станислав Дмитриевич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
f0ma@ifz.ru

Иванова Ангелина Викторовна

инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
ivanova_a@gsgas.ru

Исаев Мямма Абдулгалимович

мл. науч. сотр.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
myammatu@mail.ru

Кавун Олег Юрьевич

д-р техн. наук, зав. лаб.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
kavun@secnrs.ru

Калысова Жибек Калысовна

мл. науч. сотр., уч. секр.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
zhibek_kalysova@mail.ru

Карапетян Джон Костикович

канд. геол. наук, директор
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
jon_iges@mail.ru

Каримов Фаршед Хилолович

д-р физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
farshed_karimov@rambler.ru

Карпенко Лариса Ивановна

канд. геол.-мин. наук, уч. секр.
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
Larisa@memsd.ru

Карпинская Ольга Валентиновна

канд. хим. наук, инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
okarpinskaya@gmail.com

Карпинский Владимир Вадимович

вед. инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
karp@plkv.gsras.ru

Кобелева Елена Анатольевна

канд. физ.-мат. наук, директор
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
ekobeleva@crust.irk.ru

Кобзев Вадим Александрович

вед. инженер
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
kobzev@emsd.ru

Козьмин Борис Михайлович

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ИГАБМ СО РАН,
г. Якутск
b.m.kozmin@diamond.ysn.ru

Коновалова Анна Александровна

инженер I кат.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
seismo@emsd.ru

Копылова Галина Николаевна

д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
gala@emsd.ru

Корабельщиков Дмитрий Геннадьевич

гл. инженер
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
korabel@gs.nsc.ru

Коркина Галия Мугтасимовна

программист I кат.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
gkor@emsd.ru

Кочеткова Оксана Ивановна

вед. инженер
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
profsouz@cgm.by

Крумбан Владимир Владимирович

инженер I кат. – рук. с/с «Пулково»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
kvv@plkv.gsras.ru

Куляндина Альбина Семеновна

вед. инженер
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Якутск
albineku@gmail.com

Курова Анна Дмитриевна

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
kurovaad@gsras.ru

Курсевич Алексей Александрович

зам. зав. г/о «Нарочь»
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
kursevich@cgm.by

Курткин Сергей Валерьевич

директор
МФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Магадан
kurs@memsd.ru

Ландер Александр Викторович

ст. науч. сотр.
ИТПЗ РАН,
г. Москва
land@mitp.ru

Ларьков Александр Сергеевич

канд. геол.-мин. наук,
вед. науч. сотр., зав. лаб.
ИФЗ РАН,
г. Москва
las119@yandex.ru

Лисейкин Алексей Владимирович

канд. геол.-мин. наук, директор
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
avl@gs.nsc.ru

Лободенко Иван Юрьевич

канд. геол.-мин. наук, нач. отд.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
lobodenko@secnrs.ru

Лухнева Ольга Фёдоровна

канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск
olgal@crust.irk.ru

Макаров Александр Александрович

вед. инженер
ИГАБМ СО РАН;
вед. инженер-исследователь
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Якутск
Makarov.2A@yandex.ru

Макаров Евгений Олегович

канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр., зав. лаб.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
ice@emsd.ru

Малофеев Алексей Александрович
ст. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
malofeev@secnrs.ru

Мартинovich Юлия Витальевна
мл. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
martsinovich@cgm.by

Матвеев Евгений Александрович
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
van@emsd.ru

Мельникова Валентина Ивановна
д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр.
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск
vimel@crust.irk.ru

Меньщикова Виктория Викторовна
науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
menshikova@secnrs.ru

Милехина Александра Михайловна
мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
amilekhina@gstras.ru

Милуков Вадим Константинович
д-р физ.-мат. наук, зав. лаб.
ГАИШ МГУ,
г. Москва;
ВНЦ РАН,
г. Владикавказ
vmilyukov@yandex.ru

Миронов Алексей Павлович
науч. сотр.
ГАИШ МГУ,
г. Москва;
ВНЦ РАН,
г. Владикавказ
miro@sai.msu.ru

Митюшкина Светлана Владимировна
науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
mitik@emsd.ru

Михеева Анна Владленовна
канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ИВМиМГ СО РАН;
науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
anna@omzg.sccc.ru

Морозов Алексей Николаевич
канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
morozovalexey@yandex.ru

Моторин Александр Юрьевич
мл. науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
ayumotorin@gmail.com

Мохова Виктория Вадимовна
инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
viktoriyaperevoznikova@rambler.ru

Мунирова Лира Мирхатовна
инженер I кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
liamrita7@gmail.com

Мусрепов Арман Вахитович
мл. науч. сотр.
ИГИ НЯЦ РК,
г. Курчатов
amusreпов@kndc.kz

Мырзагазиева Гульзира Мубараквна
мл. науч. сотр.
ТОО «ИС»,
г. Алма-Ата, Казахстан
m.gulzira.m@list.ru

Надёжка Людмила Ивановна
канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ФИЦ ЕГС РАН;
зав. лаб.
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж
nadezhka@geophys.vsu.ru

Назина Полина Алексеевна
мл. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
nazina@secnrs.ru

Наумов Сергей Борисович
рук. с/с «Владивосток»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владивосток
revtrud@yandex.ru

Нестеренко Максим Юрьевич
д-р геол.-мин. наук, доцент,
зав. отделом геоэкологии
ОФИЦ УрО РАН,
г. Оренбург
n_mu@mail.ru

Новопашина Анна Владимировна

канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ИЗК СО РАН;
науч. сотр.
ИРННТУ, г. Иркутск
avn_crust@mail.ru

Носкова Наталия Николаевна

канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ИГ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
noskova@geo.komisc.ru

Овсяченко Александр Николаевич

канд. геол.-мин. наук, гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
ovs@ifz.ru

Омуралиев Медербек

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
mederbek@mail.ru

Омурбек кызы Канышай

инженер I кат.
ИС НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан
kanyshaj.omurbekkyzy@bk.ru

Павленко Василий Александрович

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
pavlenko.vasily@gmail.com

Павлов Виктор Михайлович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
pvm@emsd.ru

Панас Наталья Михайловна

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
natagold-86@inbox.ru

Пашаян Ромела Артаваздовна

канд. геол. 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@gstras.ru

Пивоваров Сергей Павлович

науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
serg@geophys.vsu.ru

Полешко Наталья Николаевна

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ТОО «ИС»,
г. Алма-Ата, Казахстан
polnat1955@bk.ru

Полянский Павел Олегович

ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
ppavel6.10@gmail.com

Пономарева Наталия Лаврентьевна

науч. сотр. - рук. с/с «Махачкала»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
natalymak@yandex.ru

Попов Илья Васильевич

вед. геолог
ООО «Полярноуралгеология»,
г. Сыктывкар
ilyageo@yandex.ru

Предин Петр Алексеевич

мл. науч. сотр.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
crmpeter@gmail.com

Протасовицкая Татьяна Анатольевна

ст. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
protasovickaya@cgm.by

Пустошило Лариса Лаврентьевна

зав. геофиз. обсерваторией
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
pustoshilo@cgm.by

Радзиминович Ян Борисович

канд. геол.-мин. наук, нач. сектора
БФ ФИЦ ЕГС РАН;
ст. науч. сотр.
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск
ian@crust.irk.ru

Раевская Анна Александровна

мл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
raevs@emsd.ru

Раецкая Ольга Сергеевна

млад. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
raetskaya@cgm.by

Разинков Олег Георгиевич

канд. физ.-мат. наук, директор
ООО НПК «Вулкан»,
г. Москва
info@vulcan-inc.ru

Ромашева Евгения Игоревна

инженер
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
evarom@emsd.ru

Саломов Нусратулло Гафурович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
seismtadj@rambler.ru

Салтыков Вадим Александрович

д-р физ.-мат. наук, доцент, гл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
salt@emsd.ru

Сальников Александр Сергеевич

д-р геол.-мин. наук, зав. отд.
АО «СНИИГГиМС»,
г. Новосибирск
assalnikov@mail.ru

Санжиева Дарима Пурба-Доржиевна

инженер
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
gindarima@mail.ru

Сасина Наталья Валерьевна

канд. геол.-мин. наук, зав. отд.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
sasina@cgm.by

Сафонов Дмитрий Александрович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИМГиГ ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск
d.safonov@imgg.ru

Сафронич Игорь Николаевич

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
igor@geophys.vsu.ru

Саяпина Анна Анатольевна

директор
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
a_sayarina@gstras.ru

Сдельникова Ирина Александровна

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
sdelnikova@gstras.ru

Селезнев Виктор Сергеевич

д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр.,
зам. директора
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН;
рук. науч. напр. ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
svs0428@mail.ru

Семенов Александр Евгеньевич

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН;
науч. сотр.
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж
alexander.semenow@gmail.com

Семенова Елена Петровна

нач. с/с «Южно-Сахалинск»
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
semenova@seismo.sakhalin.ru

Серёжников Николай Александрович

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

Сидоров-Бирюков Дмитрий Дмитриевич

инженер
ООО НПК «Вулкан»,
г. Москва
info@vulcan-inc.ru

Сизаск Илья Алексеевич

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
nadezhka@geophys.vsu.ru

Силкин Константин Юрьевич

канд. геол.-мин. наук, доцент,
науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
const.silkin@ya.ru

Скоркина Анна Александровна

канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр.
ГЦ РАН;
ИТПЗ РАН,
г. Москва
anna@mitp.ru

Смирнов Юрий Александрович

вед. геофизик
ИГИ НЯЦ РК,
г. Курчатов
yu.smirnov@kndc.kz

Соколов Александр Николаевич

науч. сотр.
ИГИ НЯЦ РК,
г. Курчатов
asokolov@kndc.kz

Соколова Инна Николаевна

д-р физ.-мат. наук, нач. группы
ИГИ НЯЦ РК,
г. Курчатов
asokolova@kndc.kz

Соловьев Виктор Михайлович

канд. геол.-мин. наук,
зам. директора
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
solov@gs.nsc.ru

Стеблов Григорий Михайлович

д-р физ.-мат. наук, профессор РАН,
зам. директора
ИТПЗ РАН;
гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
steblov@ifz.ru

Тарасов Станислав Андреевич

мл. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
tarasovidgran@mail.ru

Терещенко Ксения Валерьевна

мл. науч. сотр.
ЦГМ НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
tsiareshchenko@cgm.by

Товмасын Кристина Гагиковна

ст. инженер
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
kristina.tovmasyan.2020@mail.ru

Тубанов Цырен Алексеевич

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
ttsyren@gmail.com

Туктаров Рустам Мингулович

вед. инженер
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Якутск
Tuktarov.rust@mail.ru

Усольцева Ольга Алексеевна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИДГ РАН,
г. Москва
kriukova@mail.ru

Фараонов Андрей Аркадьевич

программист
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
faraonov@emsd.ru

Фатеев Александр Владимирович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН;
вед. инженер
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
fateev@gs.nsc.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

Филонов Дмитрий Николаевич

ст. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
filonov@secnrs.ru

Фихиева Луиза Мусаевна

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
г. Москва
fihieva@secnrs.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

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич

д-р физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
hamidov_l@mail.ru

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич

PhD техн. наук, ст. науч. сотр.
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
hayrulla_classic@mail.ru

Холодков Кирилл Игоревич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
keir@ifz.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

Шабалина Анна Сергеевна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
МФТИ,
г. Долгопрудный
shabalina@phystech.edu

Шакирова Александра Альбертовна
мл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
shaki@emsd.ru

Шарафиев Зульфат Забинович
аспирант
ИДГ РАН,
г. Москва
zulfatsharafiev@yandex.ru

Шебалин Пётр Николаевич
член-корреспондент РАН,
д-р физ.-мат. наук, директор
ИТПЗ РАН,
г. Москва,
p.n.shebalin@gmail.com

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

Шибяев Сергей Валентинович
директор
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Якутск
shibaev@emsd.ysn.ru

Шулаков Денис Юрьевич
канд. техн. наук, зав. лаб.
«ГИ УрО РАН»;
науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Пермь
shulakov@mi-perm.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.А. Виноградов. Состояние системы сейсмологических наблюдений в России и перспективы ее развития	3
Р.Р. Акбашев. Результаты долговременных наблюдений электрического поля атмосферы во время извержения вулкана Эбеко в период 2018–2020 гг.	4
И.М. Алёшин. Московский след Ирано-Иракского события 12 ноября 2017 г.	5
Е.И. Алёшина, Л.И. Карпенко, С.В. Курткин, В.В. Атрохин, Ю.В. Габдрахманова. Сейсмическое районирование территории Тэутэджакского рудного поля (Магаданская область)	6
В.В. Арапов, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов. Расчет добротности среды для Алтае-Саянской складчатой зоны	7
А.Г. Аронов, Г.А. Аронов. О развитии системы сейсмологического мониторинга на территории западной части Союзного государства	8
А.Г. Аронов, Г.А. Аронов, В.А. Егорова, Ю.В. Мартинович, О.С. Раецкая, Н.В. Сасина, К.В. Терещенко. Сейсмические воздействия от сейсморазведочных взрывов на Речицком нефтяном месторождении	9
А.Г. Аронов, Т.И. Аронова, В.А. Егорова, А.А. Курсевич, Ю.В. Мартинович, О.С. Раецкая, Н.В. Сасина, К.В. Терещенко. Оценка сейсмических воздействий при взрывах на гранитном карьере «Микашевичи» в Беларуси	10
А.Г. Аронов, Ю.В. Мартинович. Использование математической статистики в алгоритмах определений времени вступления P -волн	11
В.А. Аронов. Информационно-аналитический центр геофизического мониторинга в Республике Беларусь	12
Г.А. Аронов. Современное состояние системы сейсмологических наблюдений в Беларуси	13
Г.А. Аронов. Сеймотектоническая активность Стоходско-Могилевского разлома в Припятском прогибе	14
Т.И. Аронова, А.Г. Аронов, О.В. Захаревич, О.И. Кочеткова, И.М. Волчек, Ю.В. Мартинович. Режимные сейсмологические наблюдения в районе размещения Белорусской АЭС	15
Ф.Р. Артиков. Площадное распределение локальных сейсмических событий в зоне влияния Туполангского водохранилища	16
В.Э. Асминг, С.В. Асминг. Поточковая система автоматического детектирования, локации и дискриминации PSDL	17
Б.А. Ассиновская. О детальном сейсмическом районировании центральной части Баренцева моря	18
С.В. Баранов, С.А. Жукова, А.Ю. Моторин. Связь обводненности среды и повторяемости землетрясений в Хибинском массиве	19
Т.Б. Батыров, М.А. Исаев. Сейсмичность Дагестана за период 2017–2021 гг.	20
А.Н. Беседина, Ц.А. Тубанов, П.А. Предеин, Д.П.-Д. Санжиева. Комплексный анализ микросейсмического фона Байкальской рифтовой зоны	21
Д.И. Будилов, Е.О. Макаров, А.А. Шакирова. Акустический мониторинг вулканической активности полуострова Камчатка и Северных Курил	22
В.Ю. Бурмин. Мажорантные оценки погрешностей в определении τ_0 и V_p/V_s по графику Вадати	23
В.Ю. Бурмин, И.А. Зуева. Эффективность сейсмологической сети Карелии	24
П.Г. Бутырин, Л.Г. Дуленцова. Модернизация технологии производства Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН	25

П.Г. Бутырин, А.В. Иванова. Сервис доступа к цифровым образам аналоговых сейсмограмм	26
А.В. Верховланцев. Результаты сейсмического мониторинга технического состояния жилого здания, находящегося в зоне оседаний над горными выработками	27
Ф.Г. Верховланцев, И.В. Голубева. Сейсмичность Уральского региона за период с 2002 по 2022 г. по данным инструментальных наблюдений Уральской сейсмологической сетью	28
И.С. Владимирова, Ю.В. Габсатаров. Сеймотектонические деформации, вызванные сейсмогенной активизацией Чилийской субдукционной зоны в начале XXI в.	29
Ю.В. Габсатаров, И.С. Владимирова. Геодинамические аспекты взаимодействия Японо-Курило-Камчатской зоны субдукции с континентальной литосферой Восточной Азии	30
И.П. Габсатарова, А.С. Зверева, Е.А. Бабкова. Добротность среды в некоторых районах Северного Кавказа	31
А.М. Гаджиев, А.В. Алиева. Автоматизация обмена данными в Службе срочных донесений	32
А.Д. Гвишиани, И.А. Воробьева, П.Н. Шебалин, Б.А. Дзедоев, Б.В. Дзеранов, А.А. Скоркина. Составление сводного каталога землетрясений для восточного сектора Российской Арктики	33
Н.А. Гилёва, М.А. Хритова. Фактическая представительность регистрации землетрясений на территории Байкальской рифтовой зоны	34
А.Г. Гоев, И.М. Алёшин. Литосфера Кольского полуострова по данным приемных функций	35
П.В. Громыко, В.С. Селезнев, А.В. Лисейкин. Изменение собственных частот сооружений под влиянием температуры	36
Р.А. Дягилев. Синтезирование акселерограмм сильных движений для задач сейсмического районирования	37
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, В.М. Соловьев, Д.Г. Корабельщиков, А.А. Бах, А.В. Фатеев, П.О. Полянский, Н.А. Серёжников, Е.А. Гладышев, В.В. Арапов, Е.В. Шевкунова, И.А. Антонов, Р.А. Ершов. Сейсмические воздействия различной природы на прецизионное оборудование ЦКП «СКИФ»	38
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев, И.А. Антонов, Р.А. Ершов. Свойства техногенной сейсмичности в районах горнодобывающей деятельности в Западной Сибири	39
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев, И.А. Антонов, Е.В. Шевкунова. Развитие системы регистрации и обработки сейсмических событий и изменения в сейсмичности Алтае-Саянской горной области	40
А.Ф. Еманов, А.А. Бах, А.А. Еманов, А.В. Дураченко. Развитие метода стоячих волн в решении задач инженерной сейсмологии	41
М.А. Ефременко, С.П. Пивоваров, В.В. Мохова. Структура волнового поля сейсмических событий, возникающих при промышленных взрывах на территории Воронежского кристаллического массива	42
А.Д. Завьялов, А.Н. Морозов, И.М. Алёшин, С.Д. Иванов, К.И. Холодков, В.А. Павленко. Метод КОЗ для среднесрочного прогноза землетрясений: опыт использования и перспективы	43
А.С. Зверева, И.П. Габсатарова. Определение моментных магнитуд M_w и спектральных параметров землетрясений территории Западного Кавказа	44
Ж.К. Калысова, К.Е. Абдрахматов. Новейшие структуры Северного Тянь-Шаня и фоновая сейсмичность	45
Ф.Х. Каримов, Н.Г. Саломов. Анализ долговременных деформаций предельно напряженного образца горной породы	46

В.В. Карпинский, Б.А. Ассиновская, Л.М. Мунирова, О.В. Карпинская, Н.М. Панас, В.В. Крумпан. К 15-летию Пулковской региональной сейсмической сети	47
Е.А. Кобелева, В.В. Чечельницкий. Современное состояние сейсмологических наблюдений в Прибайкалье	48
А.А. Коновалова. Комплексные сейсмические предвестники сильных камчатских землетрясений 2016–2021 гг.	49
Г.Н. Копылова, С.В. Болдина, В.А. Кобзев, Г.М. Коркина. Модернизация оборудования на скважинах Петропавловск-Камчатского полигона и результаты	50
А.С. Куляндина, Б.М. Козьмин, С.В. Шibaев. Сейсмический режим Андрей-Тасского землетрясения в системе хребта Черского и его особенности в геофизических полях	51
А.В. Лисейкин, В.С. Селезнев. Обнаружение опасных процессов при эксплуатации техногенных сооружений по записям малоамплитудных сигналов на сейсмологической сети станций	52
И.Ю. Лободенко, Л.М. Фихиева, О.Ю. Кавун, А.С. Гусельцев, П.А. Назина. Методика оценки СВДЗК на площадке размещения ОИАЭ	53
А.А. Макаров, С.В. Шibaев. Сейсмическая обстановка, предвращавшая 8-балльное Южно-Якутское землетрясение 20 апреля 1989 г.	54
Е.О. Макаров, Р.Р. Акбашев. Краткосрочные вариации в поле подпочвенного радона и атмосферного электричества, предвращавшие землетрясение с $M=6.6$ 16 марта 2021 г. (Камчатка)	55
Е.А. Матвеевко, С.В. Митюшкина, Е.И. Ромашева, А.А. Фараонов. Создание анкет в сервисе по созданию, обработке и хранению опросов	56
Е.А. Матвеевко, А.С. Чемарёв. Сервис расчета и визуализации параметров каталога землетрясений	57
А.М. Милехина. Развитие сейсмологических наблюдений в Антарктиде	58
В.К. Милуков, А.П. Миронов, А.Н. Овсяченко, А.В. Горбатилов, А.С. Ларьков, Г.М. Стеблов. Современная геодинамика Кавказа по ГНСС наблюдениям	59
А.В. Михеева. Динамика параметров среднеглубинной сейсмичности перед крупными землетрясениями южно-азиатских сейсмофокальных зон	60
А.Ю. Моторин, С.В. Баранов. Динамический закон Бота в условиях природно-техногенной сейсмичности	61
А.В. Мусрепов, Ю.А. Смирнов, А.Н. Соколов. Спектральные характеристики сейсмического шума для временных и стационарных станций Западного Казахстана	62
Л.И. Надёжка, И.Н. Сафронич, И.А. Сизаск, А.Е. Семенов. Динамика микросейсмического шума в центральной части Воронежского кристаллического массива	63
С.Б. Наумов. Диаграмма направленности подземной антенны	64
М.Ю. Нестеренко, В.С. Белов. Оценка сейсмической активности территории восточной части Оренбургской области	65
Н.Н. Носкова, И.В. Попов. Новый пункт сейсмических наблюдений на территории Республики Коми	66
К. Омурбек кызы, М. Омуралиев, К.Е. Абдрахматов. Анализ бюллетеней промышленных взрывов на месторождении «Кумтор», Кыргызстан	67
Р.А. Пашаян, Д.К. Карапетян, Л.В. Арутюнян, К.Г. Товмасын. Геодинамика очаговых зон сильных землетрясений Армении	68
Н.В. Петрова, Л.В. Безменова, А.Д. Курова. Сильное и ощутимое землетрясение 5 апреля 2017 г. с $M_w=6.0$, $I_0=8-9$ баллов в Восточном Копетдаге	69
Н.В. Петрова, А.Д. Курова. О сходимости оценок локальных магнитуд землетрясений в регионах Северной Евразии	70

С.П. Пивоваров, И.Т. Ежова, М.А. Ефременко. Изменение динамики производства буровзрывных работ в крупных карьерах на территории Воронежского кристаллического массива (2000–2021 гг.)	71
Н.Н. Полешко, С.К. Досайбекова, Б.Б. Бектурганова, Г.М. Мырзагазиева. Исследование сейсмотектонических условий на Северном Тянь-Шане по данным механизмов очагов землетрясений	72
П.О. Полянский, А.Ф. Еманов, А.С. Сальников. Определение скоростного строения земной коры вдоль опорного профиля 3-ДВ методом динамического пересчета преломленных волн	73
Н.Л. Пономарева, М.М. Ахмедова. Учкентские землетрясения в Дагестане	74
Т.А. Протасовицкая, А.Г. Аронов, Л.В. Гирина, Л.Л. Пустошило. Характер изменения микросейсмического фона в период магнитных бурь	75
Я.Б. Радзиминович, О.Ф. Лухнева, А.В. Новопашина. Опыт использования онлайн-анкетирования населения Восточной Сибири в условиях сильных сейсмических воздействий	76
А.А. Раевская, Е.А. Матвеевко, А.В. Ландер, И.Р. Абубакиров, В.М. Павлов. Методы и результаты определения механизмов очагов землетрясений в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН	77
В.А. Салтыков. Пространственно-временные особенности представительности каталога землетрясений Камчатки	78
В.А. Салтыков. Статистическая оценка уровня сейсмичности «СОУС'09»: 10 лет использования на Камчатке	79
Н.В. Сасина, А.Г. Аронов, О.С. Раецкая, Ю.В. Мартинович. Сейсмическое микрорайонирование площадки строительства высотного комплекса «Минск-Мир»	80
Д.А. Сафонов, Е.П. Семенова. Применение магнитуды M_{w_a} в РИОЦ «Южно-Сахалинск»	81
И.Н. Сафронич. Гауссовский белый шум и эмпирические оценки его осредненного амплитудного спектра	82
И.А. Сдельникова, Г.М. Стеблов, А.А. Саяпина. Перспективы развития Северо-Кавказского регионального геодинамического полигона	83
В.С. Селезнев, А.В. Лисейкин. Сейсмология – новые направления	84
А.Е. Семенов, Э.И. Золототрубова. Геологическое строение земной коры в районе наиболее сильных землетрясений в восточной части Воронежского кристаллического массива	85
Д.Д. Сидоров-Бирюков, О.Г. Разинков. Сейсмометрические системы безопасности гидротехнических и иных инженерных сооружений на базе аппаратуры GeoSIG	86
К.Ю. Силкин. Масштабный эффект при исследовании длительности короткозамедленного взрыва с помощью вейвлет-анализа	87
А.Н. Соколов, А.В. Мусрепов, И.Н. Соколова, Ю.А. Смирнов. Влияние условий установки приборов на параметры сейсмического шума на примере Казахстанской сети мониторинга	88
В.М. Соловьев, В.С. Селезнев, А.Ф. Еманов, А.В. Лисейкин, С.В. Шibaев, В.В. Чечельницкий, Н.А. Галёва. Определение глубин землетрясений с использованием данных профильных и площадных глубинных сейсмических исследований в Сибири	89
С.А. Тарасов, О.А. Усольцева. Некоторые оценки параметра добротности литосферы на Кольском полуострове	90
Р.М. Туктаров, С.В. Шibaев. Энергетическая представительность землетрясений севера Якутии по данным ЯФ ФИЦ ЕГС РАН	91
А.В. Федоров, В.Э. Асминг, С.В. Баранов, И.С. Федоров, А.И. Воронин. Сильнейшее землетрясение Хибинского горного массива 5 марта 2022 г.	92

А.В. Федоров, И.С. Федоров, В.Э. Асминг. Результаты работы экспериментального комплекса инфразвукового мониторинга снежных лавин в Хибинском горном массиве в 2021–2022 гг.	93
А.И. Филиппова, А.С. Фомочкина, Н.А. Гилёва, Я.Б. Радзиминович, В.И. Мельникова. Очаговые параметры и афтершоковый процесс Тофаларского землетрясения 6 сентября 2021 г. ($M_w=5.4$)	94
Л.М. Фихиева, А.А. Малофеев, В.В. Меньщикова, Д.Н. Филонов. Учет современных вертикальных движений земной коры на площадке ОИАЭ при обосновании не превышения проектных пределов крена зданий и сооружений	95
А.С. Фомочкина, А.И. Филиппова. Построение модели очага Олюторского землетрясения 2006 г. по записям поверхностных волн	96
Л.А. Хамидов, Б.Р. Ганиева, С.Г. Анварова. Возможные квазистатические смещения зон влияния нескольких водохранилищ Южного Узбекистана	97
Х.Л. Хамидов, Ф.И. Иброгимов. Кинематика колебаний плотин и береговых склонов двух водохранилищ, расположенных в зонах высокого сейсмического риска Западного Тянь-Шаня	98
М.А. Хритова, Н.А. Гилёва. Программа обработки афтершоковых последовательностей землетрясений	99
Д.В. Чебров. Камчатская система мониторинга и прогнозирования землетрясений	100
А.С. Чемарёв, Е.А. Матвеев. Первый опыт применения машинного обучения на данных о вступлениях сейсмических волн	101
Т.В. Чивиева, А.А. Саяпина. Новые сейсмические станции на территории Северной Осетии–Алании	102
А.С. Шабалина, В.М. Агафонов. Трехкомпонентный молекулярно-электронный сейсмометр с общей массой	103
А.А. Шакирова. Сейсмические эффекты, предвалявшие эксплозии на вулкане Карымский (п-ов Камчатка) в феврале 2019 г.	104
З.З. Шарифиев. Исследование устойчивости модельных склонов	105
А.Г. Шеболтасов, А.А. Бах, А.Ф. Еманов. Особенности динамических воздействий на гидротехнические сооружения при сейсмометрических обследованиях	106
Д.Ю. Шулаков, Ф.Г. Верхованцев, А.С. Зверева. Детальный сейсмологический мониторинг на территории Старобинского месторождения	107
Приложение 1. Официальные сокращения названий организаций	108
Приложение 2. Сведения об авторах	112

CONTENTS

Yu.A. Vinogradov. The state of the seismological observation system in Russia and the prospects for its development	3
R.R. Akbashev. The results of long-term observations of the atmospheric electric potential gradient of the during the eruption of the Ebeko volcano in the period 2018-2020	4
I.M. Aleshin. Footprint of the November 12, 2017 Iran-Iraq event in Moscow	5
E.A. Aleshina, L.I. Karpenko, S.V. Kurtkin, Yu.V. Gabdrakhamanova. Seismic zoning of the Teutejak ore field area (Magadan region)	6
V.V. Arapov, A.A. Emanov, A.F. Emanov. Calculation of the quality factor of the environment for the Altai-Sayan folded region	7
A.G. Aronov, G.A. Aronov. On the development of the system of seismological monitoring in the territory of the western part of Union State	8
A.G. Aronov, G.A. Aronov, V.A. Egorova, Yu.V. Martinovich, O.S. Raetskaya, N.V. Sasina, K.V. Tereshchenko. Seismic effect under the seismic prospecting explosions at the Rechytsa oil deposit	9
A.G. Aronov, T.I. Aronova, V.A. Egorova, A.A. Kursevich, Yu.V. Martinovich, O.S. Raetskaya, N.V. Sasina, K.V. Tereshchenko. Assessment of the seismic effect under the explosions at the «Mikashkevichy» granite quarry in Belarus	10
A.G. Aronov, Yu.V. Martsinovich. Application of the mathematical statistics in the algorithms of determination of the P-wave onset times	11
V.A. Aronov. Information and analysis center of geophysical monitoring in the Republic of Belarus	12
G.A. Aronov. Current state of the system of seismological observations in Belarus	13
G.A. Aronov. Seismotectonic activity of the Stokhod-Mogilev fault within the Pripyat Trough	14
T.I. Aronova, A.G. Aronov, O.V. Zakharevich, O.I. Kochetkova, I.M. Volchek, Yu.V. Martinovich. Controlled seismological monitoring in the area location of the Belarusian NPP	15
F.R. Artikov. Areal distribution of local seismic events in the zone of influence of the Tupolang reservoir	16
V.E. Asming, S.V. Asming. The stream system of automatic detection, location and discrimination PSDL	17
B.A. Assinovskaya. On detail seismic regionalization of the central part of the Barents Sea	18
S.V. Baranov, S.A. Zhukova, A.Yu. Motorin. Relationship of rock watering and repetition of earthquakes in the Khibiny Mountains	19
T.B. Batirov, M.A. Isaev. Seismicity of Dagestan for the period 2017-2021	20
A.N. Besedina, Ts.A. Tubanov, P.A. Predein, D.P.-D. Sanzhieva. Complex analysis of microseismic ambient noise of the Baikal Rift zone	21
D.I. Budilov, E.O. Makarov, A.A. Shakirova. Acoustic monitoring of volcanic activity on the Kamchatka Peninsula and Northern Kuriles	22
V.Yu. Burmin. Majorant estimates of errors in determining τ_0 and V_p/V_s according to the Wadati plot	23
V.Yu. Burmin, I.A. Zueva. The effectiveness of the seismological network of Karelia	24
P.G. Butyrin, L.G. Dylencova. Modernization of the production technology of the GS RAS Seismological Bulletin	25

P.G. Butyrin, A.V. Ivanova. The service for digital images of analog seismograms access	26
A.V. Verkholtantsev. Seismic monitoring results of residential building located in the subsidence zone above mining	27
F.G. Verkholtantsev, I.V. Golubeva. Seismicity of the Ural region in accordance with instrumental observation data by the Ural seismic network in 2002-2022	28
I.S. Vladimirova, Yu.V. Gabsatarov. Seismotectonic deformations caused by the seismogenic activation of the Chilean subduction zone at the beginning of the 21st century	29
Yu.V. Gabsatarov, I.S. Vladimirova. Geodynamic aspects of the interaction between the Japan-Kurile-Kamchatka subduction zone and the continental lithosphere of East Asia	30
I.P. Gabsatarova, A.S. Zvereva, E.A. Babkova. Coda Q in some regions of the Northern Caucasus	31
A.M. Gadjev, A.V. Alieva. Automation of data exchange in the Alert Service	32
A.D. Gvishiani, I.A. Vorobieva, P.N. Shebalin, B.A. Dzeboev, B.V. Dzeranov, A.A. Skorkina. Compiling an integrated earthquake catalog of the eastern sector of the Russian Arctic	33
N.A. Gileva, M.A. Khritova. Actual representativeness of earthquake registration in the territory of the Baikal Rift zone	34
A.G. Goev, I.M. Aleshin. Kola Peninsula's lithosphere according to receiver function	35
P.V. Gromyko, V.S. Seleznev, A.V. Liseikin. Change of natural frequencies of structures under the influence of temperature	36
R.A. Dyagilev. Synthesizing strong motion accelerograms for seismic hazard assessment	37
A.A. Emanov, A.F. Emanov, V.M. Solov'ev, D.G. Korabel'shchikov, A.A. Bakh, A.V. Fateev, P.O. Polianskii, N.A. Serezhnikov, E.A. Gladyshev, V.V. Arapov, E.V. Shevkunova, I.A. Antonov, R.A. Ershov. Seismic impacts of various nature on precision equipment of the Collective Use Center "SKIF"	38
A.A. Emanov, A.F. Emanov, A.V. Fateev, I.A. Antonov, R.A. Ershov. Properties of technogenic seismicity in mining areas in Western Siberia	39
A.A. Emanov, A.F. Emanov, A.V. Fateev, I.A. Antonov, E.V. Shevkunova. Development of a system for recording and processing seismic events and changes in the seismicity of the Altai-Sayan mountain region	40
A.F. Emanov, A.A. Bakh, A.A. Emanov, A.V. Durachenko. Development of the standing wave method in solving problems of engineering seismology	41
M.A. Efremenko, S.P. Pivovarov, V.V. Mokhova. The structure of the wave field of seismic events occurring during industrial explosions on the territory of the Voronezh Crystalline Massif	42
A.D. Zavyalov, A.N. Morozov, I.M. Aleshin, S.D. Ivanov, K.I. Kholodkov, V.A. Pavlenko. Method MEE for medium-term earthquake forecast: Results and prospects	43
A.S. Zvereva, I.P. Gabsatarova. Determination of moment magnitudes M_w and spectral parameters of earthquakes in the Western Caucasus	44
Zh.K. Kalysova, K.E. Abdrakhmatov. Cenozoic structures of Northern Tien Shan and seismicity	45
F.H. Karimov, N.G. Salomov. Long-term strains' analyses of the ultimately stressed rock sample	46
V.V. Karpinsky, B.A. Assinovskaya, L.M. Munirova, O.V. Karpinskaya, N.M. Panas, V.V. Krumpan. On the 15th anniversary of the Pulkovo regional seismic network	47

E.A. Kobeleva, V.V. Chechel'nikskiy. The current status seismological observations in the Baikal region	48
A.A. Konovalova. Seismic precursors complex of large Kamchatka earthquakes 2016-2021	49
G.N. Kopylova, S.V. Boldina, V.A. Kobzev, G.M. Korkina. Equipment modernization at the wells of the Petropavlovsk-Kamchatsky test site and results	50
A.S. Kulyandina, B.M. Kozmin, S.V. Shibaev. Seismic regime of the Andrey-Tass earthquake in the Chersky Ridge system and its features in geophysical fields	51
A.V. Liseikin, V.S. Seleznev. Detection of hazardous processes during the operation of technical structures by records of low-amplitude signals on the seismological network of stations	52
I.Yu. Lobodenko, L.M. Fihieva, O.Yu. Kavun, A.S. Guseltsev, P.A. Nazina. The Methodology for Assessing of Modern Movements of the Earth's Crust at the Site of the placement of the Nuclear Facility	53
A.A. Makarov, S.V. Shybaev. Seismic situation before the 8-intensity South Yakutian earthquake on April 20, 1989	54
E.O. Makarov, R.R. Akbashev. Short-term variations in the field of subsoil radon and atmospheric electricity, preceding the earthquake with $M=6.6$, March 16, 2021 (Kamchatka)	55
E.A. Matveenko, S.V. Mitushkina, E.I. Romasheva, A.A. Faraonov. Creating questionnaires in the service for creating, processing and storing surveys	56
E.A. Matveenko, A.S. Chemarev. Service for calculation and visualization of parameters of the earthquake catalog	57
A.M. Milekhina. Development of seismological observations in Antarctica	58
V.K. Milyukov, A.P. Mironov, A.N. Ovsyuchenko, A.V. Gorbatikov, A.S. Larkov, G.M. Steblov. Modern geodynamics of the Caucasus based on GNSS observations	59
A.V. Mikheeva. Dynamics of parameters of medium-deep seismicity before large earthquakes in South-Asian seismic focal zones	60
A.Yu. Motorin, S.V. Baranov. Dynamic Bath law in natural-technological seismicity	61
A.V. Musrepov, Yu.A. Smirnov, A.N. Sokolov. Spectral characteristics of seismic noise for temporary and permanent stations in the West Kazakhstan	62
L.I. Nadezhka, I.N. Safronich, I.A. Sizask, A.E. Semenov. Dynamics of microseismic noise in the central part of the Voronezh crystal massif	63
S.B. Naumov. The radiation pattern of the underground antenna	64
M.Yu. Nesterenko, V.S. Belov. Seismic activity assessment in the eastern part of the Orenburg region	65
N.N. Noskova, I.V. Popov. New seismic station on the territory of the Komi Republic	66
K. Omurbek kyzy, M. Omuraliev, K.E. Abdrakhmatov. Analysis of industrial explosions' bulletins at the Kumtor gold deposit, Kyrgyzstan	67
R.A. Pashayan, J.K. Karapetyan, L.V. Harutyunyan, K.G. Tovmasyan. Geodynamics of source zones of strong earthquakes in Armenia	68
N.V. Petrova, L.V. Bezmenova, A.D. Kurova. Strong and tangible earthquake of April 5, 2017 with $M_w=6.0$, $I_0=8-9$ in the Eastern Kopetdag	69
N.V. Petrova, A.D. Kurova. On the conformity of local magnitude estimates for earthquakes in the regions of Northern Eurasia	70
S.P. Pivovarov, I.T. Ezhova, M.A. Efremenko. Changes in the dynamics of drilling and blasting operations in large quarries on the territory of the Voronezh Crystalline Massif (2000-2021)	71

N.N. Poleshko, S.K. Dosaibekova, B.B. Bekturganova, G.M. Myrzagazieva. Northern Tien-Shan seismic and tectonic conditions investigation according to the earthquakes mechanisms data	72
P.O. Polianskii, A.F. Emanov, A.S. Sal'nikov. Research of Earth's crust velocity structure along traverse 3-DV with method of head waves dynamic conversion	73
N.L. Ponomareva, M.M. Akhmedova. Uchkent earthquakes in Dagestan	74
T.A. Protasovitskaya, A.G. Aronov, L.V. Girina, L.L. Pustoshilo. The character of changes in the microseismic background during magnetic storms	75
Ya.B. Radziminovich, O.F. Likhneva, A.V. Novopashina. Experience of using online survey of Eastern Siberia population in conditions of strong seismic impacts	76
A.A. Raevskaya, E.A. Matveenko, A.V. Lander, I.R. Abubakirov, V.M. Pavlov. Methods and results of determining the mechanisms of earthquake sources in the Kamchatka branch of the GS RAS	77
V.A. Saltykov. Spatial-temporal features of completeness for Kamchatka earthquake catalogue	78
V.A. Saltykov. Statistical assessment of the level of seismicity SESL'09: 10 years of use in Kamchatka	79
N.V. Sasina, A.G. Aronov, O.S. Raetskaya, Yu.V. Martinovich. Seismic microzoning of the «Minsk-Mir» high-rise complex construction site	80
D.A. Safonov, E.P. Semenova. Application of M_{w_a} magnitude scale in the RIPC "Yuzhno-Sakhalinsk"	81
I.N. Safronich. Gaussian white noise and empirical estimates of its averaged amplitude spectrum	82
I.A. Sdelnikova, G.M. Steblov, A.A. Sayapina. Prospects for the development of the North Caucasus regional geodynamic network	83
V.S. Seleznev, A.V. Liseikin. Seismology – new directions	84
A.E. Semenov, E.I. Zolototrubova. Geological structure of the earth's crust in the area of the most severe earthquakes in the eastern part of the Voronezh Crystalline Massif	85
D.D. Sidorov-Biryukov, O.G. Razinkov. Structural safety systems for HPP and other engineering structures based on the GeoSIG equipment	86
K.Yu. Silkin. Scale effect in studying the duration of a short-fired explosion using wavelet analysis	87
A.N. Sokolov, A.V. Musrepov, I.N. Sokolova, Yu.A. Smirnov. Effects of instruments installation conditions on seismic noise parameters by example of Kazakhstan monitoring network	88
V.M. Solovyev, V.S. Selesnev, A.F. Emanov, A.V. Liseikin, S.V. Shibaev, V.V. Chechelnitisky, N.A. Galyova. Determination of earthquake depths using data from profile and areal deep seismic surveys in Siberia	89
S.A. Tarasov, O.A. Usoltseva. Some estimates of the Kola Peninsula lithosphere Q parameter	90
R.M. Tuktarov, S.V. Shibaev. Energy representativeness of earthquakes in the north of Yakutia according to the Yakutian Branch GS RAS	91
A.V. Fedorov, V.E. Asming, S.V. Baranov, I.S. Fedorov, A.I. Voronin. The strongest earthquake of the Khibiny Mountain on March 5, 2022	92
A.V. Fedorov, I.S. Fedorov, V.E. Asming. Results of an experimental infrasound snow avalanche monitoring complex in the Khibiny mountain range in 2021-2022	93
A.I. Filippova, A.S. Fomochkina, N.A. Gileva, Ya.B. Radziminovich, V.I. Melnikova. Source parameters and aftershock process of the 6 September, 2021 Tofalaria earthquake ($M_w=5.4$)	94

L.M. Fihieva, A.A. Malofeev, V.V. Menschikova, D.N. Filonov. Account of the Modern Vertical Movements of the Earth's Crust at the Site of the Nuclear Facility during the Justification of the Non-exceedance of the Design Limits of Tilt of Buildings and Structures	95
A.S. Fomochkina, A.I. Filippova. Building a source model of the 2006 Olyutorskii earthquake from surface wave records	96
L.A. Khamidov, B.R. Ganieva, S.G. Anvarova. Possible quasi-static displacements of zones of influence of several reservoirs in Southern Uzbekistan	97
Kh.L. Khamidov, F.I. Ibrogimov. Kinematics of oscillations of dams and coastal slopes of two reservoirs located in high seismic risk zones of the Western Tien Shan	98
M.A. Khritova, N.A. Gilyova. The software for processing aftershock sequences of earthquakes	99
D.V. Chebrov. Earthquake monitoring and forecasting system in Kamchatka	100
A.S. Chemarev, E.A. Matveenko. First experience with machine learning on seismic arrival data	101
T.V. Chivieva, A.A. Sayapina. New seismic stations in North Ossetia-Alania	102
A.S. Shabalina, V.M. Agafonov. Three-component molecular-electronic seismometer with common mass	103
A.A. Shakirova. Seismic effects ahead of Karymsky volcano (Kamchatka) explosions in February 2019	104
Z.Z. Sharafiev. Study of stability of model slopes	105
A.G. Sheboltasov, A.A. Bah, A.F. Emanov. Features of dynamic impacts on hydraulic structures during seismometric surveys	106
D.Yu. Shulakov, F.G. Verkholtantsev, A.S. Zvereva. Detailed seismological monitoring on the territory of the Starobinskoye potash deposit	107
Appendix 1. Official names of organizations reducing	108
Appendix 2. Data on authors	112

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ЕДИНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ФИЦ ЕГС РАН)**

URL: <http://www.gsras.ru/>. E-mail: frc@gsras.ru

Центральное отделение (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН

249035, Калужская область, г. Обнинск, проспект Ленина, д. 189.
Тел.: +7 (495) 912-68-72, +7 (484) 393-14-05, факс: +7 (484) 393-02-34.
URL: <http://www.gsras.ru/>. E-mail: frc@gsras.ru

Алтае-Саянский филиал (АСФ) ФИЦ ЕГС РАН

630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Зоологическая, д. 8.
Тел.: +7 (383) 330-12-61, факс: +7 (383) 330-12-61.
URL: <https://asgsr.ru/>. E-mail: asf@gs.nsc.ru

Байкальский филиал (БФ) ФИЦ ЕГС РАН

664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128.
Тел. +7 (3952) 42-60-18, факс: +7 (3952) 42-60-18.
URL: <http://www.seis-bykl.ru/>. E-mail: bomse@crust.irk.ru

Бурятский филиал (БуФ) ФИЦ ЕГС РАН

670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. ба.
Тел.: +7 (3012) 43-49-01, факс: +7 (3012) 33-60-24.
E-mail: gs@ginst.ru

Дагестанский филиал (ДФ) ФИЦ ЕГС РАН

367008, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Белинского, д. 16.
Тел.: +7 (8722) 67-02-73, факс: +7 (8722) 67-60-04.
URL: <http://dbgsras.ru/>. E-mail: info@dbgsras.ru

Камчатский филиал (КФ) ФИЦ ЕГС РАН

683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9.
Тел.: +7 (4152) 43-18-03, факс: +7 (4152) 43-18-11.
URL: <http://glob.emsd.ru/>. E-mail: kbgs@emsd.ru

Кольский филиал (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН

184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14.
Тел.: +7 (81555) 7-96-63, факс: +7 (81555) 7-65-90.
URL: <http://www.krsc.ru/>. E-mail: kolf@krsc.ru

Магаданский филиал (МФ) ФИЦ ЕГС РАН

685024, г. Магадан, ул. Скуридина, д. 6-б.
Тел.: +7 (4132) 62-23-77, факс: +7 (4132) 62-23-77.
E-mail: ma2@memsd.ru

Сахалинский филиал (СФ) ФИЦ ЕГС РАН
693010, г. Южно-Сахалинск, ул. Тихоокеанская, д. 2-а.
Тел.: +7 (4242) 45-11-66, факс: +7 (4242) 43-43-39.
E-mail: omsp@seismo.sakhalin.ru

Северо-Осетинский филиал (СОФ) ФИЦ ЕГС РАН
362002, Республика Северная Осетия-Алания,
г. Владикавказ, ул. Маркова, д. 93-а.
Тел.: +7 (8672) 76-89-04, факс: +7 (8672) 76-89-04.
URL: <http://sofgsras.ru/>. E-mail: sofgsras@gmail.com

Сейсмологический филиал (СФ) ФИЦ ЕГС РАН
630090, Новосибирская область, г. Новосибирск,
пр-т Академика Коптюга, д. 3.
Тел.: +7 (383) 333-20-21, факс: +7 (383) 333-32-28.
URL: <http://sefgsr.ru/>. E-mail: sef@gs.nsc.ru

Якутский филиал (ЯФ) ФИЦ ЕГС РАН
677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, проспект Ленина, д. 39.
Тел.: +7 (4112) 33-51-88, факс: +7 (4112) 33-51-88.
URL: <https://yakgsras.ru/>. E-mail: seisyak@ya.ru

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ.
ТЕЗИСЫ XVI МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ**

Минск, Беларусь, 12–16 сентября 2022 г.

Подготовка и издание сборника осуществлены при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) 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, компьютерная верстка: С.Г. Пойгина
Корректор: С.В. Бутырина

Подписано в печать 23.08.2022 г.
Формат 60×90/8. Тираж 150 экз.
Усл. печ. л. 16.75.

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