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 XVIII Международной сейсмологической школы г. Витебск, Республика Беларусь, 9–13 сентября 2024 г.

MODERN METHODS OF PROCESSING AND INTERPRETATION OF SEISMOLOGICAL DATA

Abstracts of the XVIII International Seismological Workshop Vitebsk, Republic of Belarus, September 9-13, 2024



Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – 120 с. – EDN: XDVYEE

ISBN 978-5-903258-50-5

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XVIII Международной сейсмологической школе «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных», состоявшейся в г. Витебске, Республика Беларусь, 9–13 сентября 2024 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, д-р техн. наук Ю.А. Виноградов, канд. физ.-мат. наук Р.А. Дягилев, канд. физ.-мат. наук И.П. Габсатарова, канд. физ.-мат. наук Н.В. Петрова, д-р физ.-мат. наук И.Н. Соколова.

Подготовка и издание сборника осуществлены при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (УНУ СИЗК МАК) (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

Malovichko, A.A. (Ed.). (2024). Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Tezisy XVIII Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Abstracts of the XVIII International Seismological Workshop]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ., 120 p. (In Russ.). EDN: XDVYEE

Abstracts contain the reports presented at the XVIII International Seismological Workshop "Modern methods and interpretation of seismological data" held in Vitebsk, Belarus, September 9-13, 2024. 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, Dr. Yu.A. Vinogradov, PhD R.A. Dyagilev, PhD I.P. Gabsatarova, PhD N.V. Petrova, Dr. I.N. Sokolova.

ISBN 978-5-903258-50-5

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2024

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ РАЗВИТИЯ

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

Фелеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук (далее – Центр), одна из крупнейших научных организаций в области наук о земле в системе Минобрнауки–РАН, фактически является Национальным сейсмологическим центром. Центр обеспечивает работоспособность федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений, включающей, по состоянию на 1 января 2024 г., 359 опорных сейсмических станций, 58 ГНСС-станций, пять инфразвуковых групп и десять региональных информационно-обрабатывающих центров, функционирующих в непрерывном режиме. Получаемые с её помощью фактографические материалы служат основой для развития фундаментальных научных знаний, необходимых для совершенствования методов прогнозирования землетрясений, цунами и извержений вулканов, а также являются исходными данными для принятия оперативных решений государственных служб России, ответственных за национальную безопасность, снижение рисков техногенных катастроф и уменьшение негативных последствий от аномальных геодинамических явлений природного характера. Особо следует отметить, что часть сейсмостанций является неотъемлемым российским компонентом Международной системы мониторинга за проведением ядерных взрывов на Земле.

В составе Центра круглосуточно действует Служба срочных донесений о произошедших землетрясениях, оперативность и точность работы которой определяется непрерывным улучшением методик сбора, передачи и обработки сейсмологической информации [1]. Перспективы развития Центра построены на нескольких руководящих документах, вышедших в последние годы и подписанных Президентом Российской Федерации [2–4]. Основными приоритетами являются: цифровизация и открытый обмен данными; развитие сетей геофизического мониторинга в Арктике и Дальневосточном федеральном округе; применение сейсмометрических наблюдений для контроля состояния зданий, сооружений и дорогостоящего оборудования; разработка методов средне- и краткосрочного прогнозирования землетрясений и извержений вулканов. Такие работы широко востребованы как научными организациями различного ведомственного подчинения (Минприроды, Минстрой, МЧС, МО РФ), так и организациями, и предприятиями реального сектора экономики, прежде всего связанными с добычей полезных ископаемых, гидро- и атомной энергетикой.

В докладе приводится информация о современном состоянии системы сейсмологических наблюдений РФ, оценка результатов её работы в 2023 г., обсуждаются наиболее значимые достижения, полученные Центром в 2023 г., и перспективы его развития.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов Ю.А. и др.* Сильные землетрясения земного шара во II полугодии 2023 г. по данным ССД ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 1. – С. 7–28. – DOI: 10.35540/2686-7907.2024.1.01. – EDN: DQQNZV

2. Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года. Указ Президента РФ от 11 января 2018 г. № 12. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/ 0001201801110013

3. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033

4. *Перечень поручений по итогам встречи с молодыми учёными 1 декабря 2022 г.* Президента Российской Федерации от 06.03.2023 г. № Пр-464. – URL: http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/70647

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА СИНЕРГИИ В СЕЙСМИЧНОСТИ

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

Под синергией понимается взаимодействие или сотрудничество, приводящее к возникновению целого, которое представляет собой нечто большее, чем просто сумма составляющих его частей. Эффект синергии встречается во многих природных и социальных явлениях. К примеру, твёрдое тело, представляющее собой множество частиц, ведёт себя совершенно иначе, чем его отдельные составляющие элементарные частицы.

В предыдущих публикациях [1] было показано, что сейсмический процесс носит фрактальный характер, т.е. характер масштабной инвариантности. Концепция масштабной инвариантности означает воспроизведение чего-либо самим себя на разных временных, пространственных, энергетических и других масштабах. Математически это означает, что измеряемая величина ξ , зависящая от параметра *x*, является инвариантной к масштабу при произвольном изменении $x \rightarrow \lambda x$, если существует число $\mu(\lambda)$, при котором

$$\xi(x) = \mu \cdot \xi(\lambda x). \tag{1}$$

Решением уравнения (1) является степенная зависимость $\xi(x)=x^{\alpha}$, где показатель степени α равен:

$$\alpha = -\frac{\ln\mu}{\ln\lambda}.$$
 (2)

Отличительным признаком масштабной инвариантности и являются степенные зависимости, т.к. коэффициент $\frac{\xi(\lambda x)}{\xi(x)} = \lambda^{\alpha}$ не зависит от *x*, то есть относительные значения измеряемой величины по двум различным масштабам зависят только от отношения этих масштабов.

В сейсмологии известны уравнения, которые выражаются в виде степенной зависимости некоторой функции f(x) от параметра x: $f(x)=Cx^{\gamma}$, имеющей вид линейной зависимости в билогарифмическом масштабе. Примерами являются зависимости между числом повторяемости N^* и энергией E землетрясений (3), между размерами очага L и энергией E землетрясений (4) и др.:

$$\lg N^* = \alpha - \gamma \cdot \lg E, \tag{3}$$

$$lgL=\beta \cdot lgE-\theta. \tag{4}$$

Показатели степени λ и β, фигурирующие в уравнениях (3) и (4), и другие показатели степеней, характеризующие сейсмический процесс, являются дискретными нецелочисленными (фрактальными) параметрами. Таким образом, сейсмичность предстаёт перед нами как иерархически ранжированный, взаимосвязанный на всех иерархических уровнях единый процесс, в чём и выражается синергизм сейсмичности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адилов* **3.***А.*, *Асманов* **О.***А*. Проявления фрактальности в сейсмичности территории Дагестана // Геология и геофизика Юга России. – 2012. – № 2. – С. 3–10. – EDN: QFKXZW

ГСЗ ИЛИ ФУНКЦИЯ ПРИЁМНИКА? НУЖНОЕ ПОДЧЕРКНУТЬ!

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

В докладе приведён результат сравнительного анализа двух широко распространённых методов исследования глубинного строения Земли с помощью сейсмических сигналов. Метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) был создан в начале сороковых годов прошлого века под руководством академика Г.А. Гамбурцева. Первое краткое описание метода приведено в заметке [1], более подробное изложение опубликовано в статье [2]. Метод представляет собой развитие и модификацию сейсморазведочной практики для пространственного масштабирования изучаемых структур. В ГСЗ используются различные типы продольных и поперечных сейсмических волн: рефрагированные, отражённые, преломлённые и пр. С момента создания метод ГСЗ получил существенное развитие, появились многочисленные его вариации, отличающиеся источниками возбуждения колебаний, методами фиксации, способов обработки. Метод ГСЗ позволяет определить упругие параметры Земли вплоть до мантийных глубин.

Так же как и ГСЗ, метод функций приёмника широко используется для изучения внутреннего строения Земли, вплоть до нижней границы переходной зоны мантии. Создание метода связано с именем Льва Павловича Винника, его пионерская работа [3] на эту тему была опубликована в 1977 году. В ней впервые были выделены обменные волны $P \rightarrow S$ от удалённых землетрясений, образованные на границах переходной зоны мантии. Двумя годами позже вышла статья [4], в которой описано применение обменных волн удалённых событий для изучения земной коры. Метод функций приёмника основан на интерпретации обменных волн, точнее говоря, в нём используется сумма отношения радиальной и вертикальной компонент сейсмограмм многих (нескольких десятков) событий. Как и ГСЗ, современный вариант метода функций приёмника претерпел существенные изменения и значительно отличается от своей первоначальной версии.

Как эти методы соотносятся между собой? Дополняют друг друга или вступают в противоречие?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гамбурцев Г.А.* Глубинное сейсмическое зондирование земной коры // Доклады АН СССР. – 1952. – Т. 87, № 6. – С. 943–946.

2. *Гамбурцев Г.А.* Глубинное сейсмическое зондирование земной коры // Проблемы прогноза землетрясений. – М.: Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1954. – Т. 25. – С. 124–133.

3. *Vinnik L.P.* Detection of waves converted from P to SV in the mantle // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1977. – V. 15, N 1. – P. 39–45. – DOI: 10.21348/p.1977.0024

4. *Langston C.* A Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1979. – V. 84, N B9. – P. 4749–4762. – DOI: 10.1029/jb084ib09p04749

СЕЙСМИЧНОСТЬ ОМСУКЧАНСКОГО РАЙОНА

Е.И. Алёшина, Л.И. Карпенко, к.г.-м.н., Ю.А. Гавриленко МФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Магадан

Омсукчанский район расположен на северо-востоке Магаданской области. Это одна из перспективных в горнорудном отношении территорий региона, дающих почти 90% добываемого в России серебра. Основная часть территории Омсукчанского района ограничена координатами φ=61.6-64.0°N и λ=152.5-158.9°E и представляет прямоугольник, в центре которого располагаются крупные горнодобывающие предприятия Омсукчанского района. В пределах этой территории находятся основные сейсмогенные зоны, землетрясения которых проявляются максимальными сотрясениями. За период инструментальных наблюдений (1963–2023 гг.) на рассматриваемой территории локализованы эпицентры 1530 землетрясений с энергетическими классами Kp=5.7-13.7 (M=1.4-5.3). Более половины землетрясений относится к 7–8 энергетическим классам, землетрясения с $K_P>10$ составляют 7.5% (включая афтершоки). Наибольшее количество землетрясений зарегистрировано в 1981, 1987, 1998 и 2004 гг. Это связано с афтершоковыми процессами Купкинского (1981 г.) и Омсукчанского (1987 г.) землетрясений, а также с роями землетрясений – Наяханским (1998 г.) и Маратским (2004 г.) [1]. Сотрясения за весь инструментальный период не превышали 5 баллов, что существенно ниже, чем указано на картах общего сейсмического районирования территории РФ ОСР-2015.

За последние 15 лет самыми сильными стали два события с близкими эпицентрами, произошедшие в 2023 г. в верхнем течении реки Омолон. Первое землетрясение зарегистрировано 19 марта в 23^h05^m с *K*_P=13.2 (*MPSP*=5.0), и второе – 21 марта в 17^h23^m с *K*_P=12.9 (MPSP=5.0). В очагах этих сильных землетрясений высвободилось 97% годовой сейсмической энергии. У этой пары событий локализовано 34 афтершока с *K*_P=7.1–11.0. В тектоническом отношении эпицентры основного толчка и афтершоков находятся в пределах Южно-Омолонского поднятия. Эпицентральную зону пересекает Тебанинский глубинный разлом. Оба землетрясения ощущались на руднике «Кубака» (Δ =85, 82 км), в посёлках Омсукчан (Д=163, 167 км) и Эвенск (Д=168, 171 км) с интенсивностью 4 балла. Второе землетрясение в Эвенске ощущалось слабее (*I*=3-4 балла). Ранее в этом районе регистрировались в основном слабые землетрясения с *К*_Р=7.6–9.9. Следует отметить, что в 2021 г. в этом районе произошла пара сильных землетрясений – 9 октября 2021 г. в 06^h54^m с *K*_P=13.2 (*MPSP*=5.0) и сильнейший афтершок 19 октября 04^h48^m с *K*_P=11.6 (*MPSP*=4.4). По данным действующей карты ОСР-2015, очаговая область этих землетрясений располагается в 7-балльной зоне при периодах повторения 1 раз в 500 и 1000 лет (карта ОСР-2015-А, В) и в 8-балльной зоне с периодом повторения 1 раз в 5000 лет. Расчётное значение интенсивности сотрясения в эпицентре с применением среднего по Северо-Востоку и Якутии уравнения макросейсмического поля [2] составило І₀=8 баллов (при глубине очага 5 км и магнитуле $MS_{nacu}=5.1$), что соответствует максимально возможному сотрясению по карте ОСР-2015 при периоде повторяемости 1 раз в 5000 лет (карта ОСР-2015-С).

Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы при проектировании и строительстве объектов горнодобывающего комплекса на площади исследований.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшина Е.И., Седов Б.М., Гунбина Л.В. Характеристика роёв и афтершоков Северо-Востока России // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 31–35. 2. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – С. 20–31.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА БАЗЕ ИНКЛИНОМЕТРА МПЛИ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «НАРОЧЬ»

¹А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., ¹Г.А. Аронов, ²И.В. Бедняков, ²К.С. Бунятов, ²В.В. Глаголев, д.ф.-м.н., ²Ю.В. Клемешов, ²А.В. Красноперов, к.ф.-м.н., ²А.М. Кузькин, ¹А.А. Курсевич, ¹А.А. Левченко, ²М.В. Ляблин, к.ф.-м.н., ²Р.В. Ни, ²А.А. Плужников, ²К.Д. Поляков ¹ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь ²ОИЯИ, г. Дубна

Описаны принципы построения и приведены технические характеристики малогабаритного прецизионного лазерного инклинометра МПЛИ [1], разработанного в Объединённом институте ядерных исследований (г. Дубна, Россия). Проведен цикл научноэкспериментальных работ в режиме непрерывных круглосуточных наблюдений за сейсмическими событиями природного и техногенного характера на основе МПЛИ и сейсмометрического оборудования [2, 3], установленного в стационарных условиях геофизической обсерватории «Нарочь» Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси.

Работа направлена на разработку комплексных исследований при проведении высокоточных геофизических измерений с возможностью оперативного обмена информацией и интегрированием в существующие сети геофизических наблюдений. Регистрация угловых колебаний поверхности Земли на основе малогабаритных прецизионных лазерных инклинометров в совокупности с сейсмометрическими наблюдениями позволит разработать новые методические основы по изучению напряжённо-деформированного состояния среды.

Проведение научно-экспериментальных работ заключалось в установке МПЛИ в стационарных условиях геофизической обсерватории, подготовке и тестировании аппаратурного комплекса, проведении комплексных наблюдений по регистрации сейсмических событий с определением угловых колебаний поверхности Земли.

Разработано специальное программное обеспечение для работы с данными МПЛИ. В возможности программы входит: просмотр исходной информации с каналов, просмотр восстановленных углов по осям N-E, сохранение исходных данных и восстановленных углов в заданном интервале, объединение результатов измерений за несколько дней в один файл, конвертация (доступна только для данных восстановленных углов) в формате miniSEED. Обязательным условием для качественного анализа волновой картины, поступающей с МПЛИ, и дальнейшего сравнения с данными сейсмометрического оборудования является расчёт калибровочных коэффициентов, которые являются специфическими для места установки МПЛИ. При визуализации волновой картины МПЛИ в процессе обработки были выделены возмущения, по характеру записи схожие с волновой картиной сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической станцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атанов Н.В., Бедняков И.В., Будагов Ю.А., Глаголев В.В., Клемешов Ю.В. и др. Компактный прецизионный лазерный инклинометр: Измерение сигналов и шумов // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2023. – Т. 54, вып. 4. – С. 959–983. – EDN: NDLCRZ

2. Trillium 120Q/QA. User Guide (including errata sheet). – Canada: Nanometrics Inc., 2017. – 59 c.

3. Centaur. User Guide. - Canada: Nanometrics Inc., 2023. - 206 c.

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В РАЙОНЕ ЗЕМЛИ ЭНДЕРБИ В АНТАРКТИДЕ

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

Научные исследования в районе Земли Эндерби в Антарктиде проводятся в рамках Государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021–2025 годы, подпрограммы «Развитие деятельности Белорусской антарктической станции» [1]. В 2023–2024 гг. проведены наблюдения на сейсмической станции BAS в районе базирования Белорусской антарктической станции.

Первичная обработка данных состоит из следующих этапов: воспроизведение цифровых записей; оценка их качества; преобразование (коррекция) записи; выделение на записях сейсмических событий. Методика камеральной обработки инструментально зарегистрированных сейсмических событий включает в себя этап обнаружения сигнала и этап определения его основных параметров (времён вступления различных фаз, амплитуд и соответствующих им периодов; координат источника зарегистрированного события). В результате окончательной обработки записей составляются сейсмологический бюллетень станции и каталоги землетрясений.

Один из этапов, в рамках указанной выше Госпрограммы, включает применение геоинформационных технологий в качестве цифровой основы для представления района размещения Белорусской антарктической станции с координатной привязкой сейсмического пункта, включая цифровые карты геолого-геофизического содержания. Разработка геоинформационной системы (ГИС) «Антарктида» обусловлена необходимостью создания единой системы ведения, хранения, обработки, анализа, систематизации и визуализации полученных данных с сейсмической станции ВАЅ, с последующим пополнением данных по мере поступления новой информации, при необходимости – внесением соответствующих корректировок.

В Центре геофизического мониторинга НАН Беларуси для создания электронных карт применяется открытое программное обеспечение в области геоинформационных систем QGIS, которое периодически обновляется по мере выпуска новых версий программы. В настоящее время разработан проект ГИС «Антарктида» для представления района размещения Белорусской антарктической станции и сейсмического пункта BAS с результатами сейсмологического мониторинга на основе проекта ГИС "Quantarctica". Данные каталогов землетрясений, зарегистрированных сейсмической станцией BAS, внесены в проект ГИС «Антарктида», где создан набор данных «Сейсмические события», который включает три векторных слоя: «Эпицентры микрособытий», «Эпицентры местных землетрясений» и «Эпицентры региональных землетрясений».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аронов А.Г., Сасина Н.В., Аронов Г.А.* Научно-технические аспекты организации сейсмологических наблюдений в составе Белорусской антарктической станции // Природная среда Антарктики: междисциплинарные подходы к изучению: Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, посвящённой 15-летию ГУ «Республиканский центр полярных исследований» (Домжерицы, 21–23 сентября 2022 г.). – Минск: БГТУ, 2022. – С. 35–38.

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ГРАНИТНОМ КАРЬЕРЕ В БЕЛАРУСИ

¹А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., ¹В.А. Беляева, ²Э.Г. Гаврилкович, ¹Ю.В. Мартинович, ²В.Ч. Орловский, ¹К.В. Терещенко ¹ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь ²РУПП «Гранит», г. Микашевичи, Беларусь

Работа посвящена инструментальной оценке сейсмического воздействия на жилую застройку г. Микашевичи при проведении массовых промышленных взрывов на гранитном карьере. Для получения обоснованных данных о характере сейсмических воздействий от взрывов различной мощности на разных горизонтах отработки породы в карьере были изучены:

– характер затухания суммарной векторной скорости и её составляющих в зависимости от расстояния как для отдельных взрывов, так и в целом для всех рассматриваемых взрывов;

- зависимость суммарной векторной скорости от приведённого расстояния.

Для обработки был использован программный комплекс SeisComP версии 5 [1].

В процессе первичной обработки сейсмических записей выделяется «полезный» сигнал на уровне микросейсмического шума с последующей интерпретацией амплитудных изменений в виде расстановки фаз вступления продольных и поперечных волн. Для большинства взрывов, зарегистрированных на станциях сети, характерным является высокий уровень амплитуд сейсмических волн, поляризованных в вертикальном направлении, горизонтальные компоненты имеют небольшой вес в значениях суммарной векторной скорости смещения грунта.

Значения магнитуд *ML*, полученные по результатам камеральной обработки взрывов, сопоставлялись с фактически использованными в промышленных взрывах массами зарядов по материалам горнодобывающего предприятия с последующей линейной аппроксимацией в пределах заданного доверительного интервала ±0.2 σ .

Важно, что при изучении сейсмического эффекта промышленных взрывов необходимо было иметь данные о микросейсмическом фоне в районе проведения работ. Для подробного спектрального анализа были выбраны взрывы, суммарная векторная скорость смещения грунта при которых оценивалась значениями более 0.3 *см/с*. Абсолютно у всех полученных спектров Накамуры [2] присутствует максимум около частоты 2.5 Γu , что позволяет сделать следующий вывод – для зданий и сооружений по данным близко расположенных сейсмических станций эта частота является резонансной и должна быть учтена при оценке влияния сейсмических воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH*. The SeisComP seismological software package. – GFZ Data Services, 2008. – DOI: 10.5880/GFZ.2.4.2020.003

2. *Nakamura Y*. A Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports. – 1989. – V. 30, N 1. – P. 25–33.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В БЕЛАРУСИ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

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

Основу геофизического мониторинга на территории Беларуси составляют сейсмологические наблюдения, измерение параметров магнитного поля Земли и ионосферы.

Сейсмологические наблюдения осуществляются на геофизических обсерваториях «Нарочь» и «Плещеницы» для обеспечения контроля за происходящими сейсмическими событиями различной природы происхождения в широком диапазоне энергий и расстояний. В составе Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси функционируют три локальные сейсмологические сети наблюдений в районе Солигорского горнопромышленного региона, на гранитном карьере «Микашевичи» и в районе размещения Белорусской АЭС. Проводимые сейсмологические наблюдения интегрированы в Систему мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также в Национальную систему мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [1, 2]. С 2023 г. на Антарктическом континенте в районе Вечернегорской площади западной части Земли Эндерби проводятся сейсмологические наблюдения для изучения локальных и региональных процессов.

Непрерывные наблюдения за элементами геомагнитного поля Земли проводятся на геофизической обсерватории «Плещеницы» в Беларуси с 1960 года. За последние годы проведена комплексная модернизация обсерватории, построены новые павильоны для геомагнитных измерений, выполнено оснащение современным оборудованием и приборами.

На территории Беларуси функционирует система спутникового точного позиционирования с высокой плотностью пунктов измерений. На основе полученных данных из системы проводятся: вычисление значения полного электронного содержания в ионосфере, оценка состояния ионосферы (выявление нелинейных эффектов, связанных с ионосферными штормами), реконструкция трёхмерного распределения электронной концентрации ионосферы, а также анализ и отображение информации.

Комплексный геофизический мониторинг различных геосфер позволяет с большей степенью детальности исследовать протекающие в них процессы и явления.

ЛИТЕРАТУРА

1. О создании Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 20 апреля 1993 г., № 247 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – Минск, 1993. – 6 с.

2. Об утверждении положения о системе мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 19 ноября 2004 г., № 1466 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – Минск, 2004. – 4 с.

ОБРАБОТКА ИНФРАЗВУКОВЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И ЛОКАЦИИ PSDL

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

В Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН в течение многих лет разрабатываются алгоритмы и программные системы для автоматического детектирования и локации сейсмических и инфразвуковых событий. Был разработан быстрый детектор инфразвуковых событий QACD, ориентированный на данные инфразвуковых групп, состоящих из трёх датчиков [1]. Впоследствии алгоритм этого детектора был переработан, новая версия QACD2 позволяет эффективно обнаруживать инфразвуковые события на данных произвольных инфразвуковых групп, распознавать сигналы от движущихся объектов [2].

Параллельно велась работа по созданию комбинированной системы, позволяющей обнаруживать и лоцировать как сейсмические, так и инфразвуковые события по данным сейсмических и инфразвуковых систем в произвольной комбинации. Система получила название PSDL [3].

Алгоритм инфразвукового детектора QACD2 [2] был интегрирован в систему PSDL. В дополнение к нему был реализован алгоритм ассоциации обнаруженных инфразвуковых и сейсмических сигналов, предположительно имеющих общий источник.

Система PSDL используется в рутинной обработке данных КоФ ФИЦ ЕГС РАН, обнаруживая и ассоциируя несколько тысяч сейсмических и инфразвуковых событий в год. Также она была применена для обработки данных нового сейсмоинфразвукового комплекса ZEFI, расположенного на Земле Франца-Иосифа. С её помощью обнаружено большое количество пар сейсмических и инфразвуковых сигналов, видимо, связанных с активностью ледников.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. – EDN: MSOZRN

2. *Евтюгина* 3.А., *Асминг* **В.Э.** Детектор инфразвуковых сигналов QACD2 и его применение // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 35. – EDN: CAMUVG

3. *Асминг* **В.Э.**, *Асминг* **С.В.** Потоковая система автоматического детектирования, локации и дискриминации PSDL // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 17. – EDN: MNHNFK

ПАРАМЕТРЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЗАПАДНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ ПО МЕТОДУ ЖУ И КАНАМОРИ

¹А.И. Астаскевич, ¹И.М. Алёшин, к.ф.-м.н., ²М.Ю. Нестеренко, д.г.-м.н. ¹ИФЗ РАН, г. Москва ²ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург

Представлен результат анализа приёмных функций, полученных по данным Оренбургской региональной сети «Нефтегаз-сейсмика» [1]. Были использованы записи 23 удалённых землетрясений магнитудой выше 5.0, зарегистрированных широкополосной сейсмической станцией, входящей в состав сети. После контроля качества были оставлены 19 сейсмограмм, для которых по стандартной методике [2] были рассчитаны функции приёмника по продольным волнам. Полученные данные были использованы для оценки сейсмических параметров земной коры под станцией и глубины до границы Мохоровичича в этом месте. Для оценок применялся известный метод, описанный в [3], основанный на совместной интерпретации времён прихода основной обменной волны, образованной на границе Мохоровичича Ps, и кратных обменных волн Ppps и Psps+Ppss(эти фазы вступают одновременно). Используется модель однородного плоского слоя. Фиксируется значение скорости продольных волн V_P , а её отношение к скорости поперечных волн V_P/V_S и толщина слоя варьируются в заданных пределах.

Полученные таким образом значения параметров согласуются с определёнными ранее, с помощью непосредственной инверсии функций приёмника и данными профилей ГСЗ в этом районе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нестеренко М.Ю., Алёшин И.М., Гоев А.Г., Капустина О.А., Астаскевич А.И.* Оренбургская региональная сеть «Нефтегаз-сейсмика» // Сейсмические приборы. – 2023. – Т. 59, № 2. – С. 5–17. – DOI: 10.21455/si2023.2-1. – EDN: OWLHRY

2. *Винник Л.П.* Сейсмология приёмных функций // Физика Земли. – 2019. – № 1. – С. 16–27. – DOI: 10.31857/S0002-33372019116-27. – EDN: BYXDGY

3. *Zhu L., Kanamori H.* Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2000. – V. 105, N B2. – P. 2969–2980. – DOI: 10.1029/1999JB900322

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАЙОНА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КОЛЫМСКОЙ ГЭС

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

Оценка степени влияния сейсмических событий на территорию размещения различных промышленных и других объектов необходима для контроля сейсмической опасности и своевременного принятия мер безопасности. Для целей локализации всех потенциально опасных событий и для полного мониторинга сейсмической обстановки используются все стационарные станции региональной сети Магаданского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1].

Оценка параметров сейсмических воздействий на территорию горнотехнических сооружений (ГТС) Колымской ГЭС проводилась на основе каталога всех местных землетрясений и промышленных взрывов, которые были зарегистрированы приборами, установленными на этой территории (станции KOLG и KOLB). Параметризация воздействий проводилась по акселерометрическим и велосиметрическим записям станций KOLB и KOLG. Для расчётов параметров *PGA* и *PGV* (пиковое ускорение/пиковая скорость колебаний грунта, *см/с*) использовались максимальные значения поперечной волны *Sg*, измерялся полный вектор амплитуды по горизонтальным составляющим NS и EW. Энергетический класс K_P событий определялся по максимуму полного вектора смещения на сейсмограмме.

Для оценки влияния отбирались сейсмические события (землетрясения и промышленные взрывы) из разных зон и на разных удалениях от объекта исследований. Воздействия на грунты рассчитывались по формуле Н.В. Шебалина с коэффициентами уравнения макросейсмического поля, рассчитанными для Якутии и Северо-Востока РФ [2].

Для получения более точных данных о сейсмических воздействиях, что актуально на локальном уровне для расчёта интенсивности сотрясений на промышленных площадках, таких, как ГЭС, необходимо использовать непосредственно измеренные *PGA* и *PGV* в точке наблюдения. Для перехода от пиковых скоростей и ускорений смещения грунта к интенсивности сотрясений в баллах по шкале сейсмической интенсивности (ШСИ-17) использовалось соотношение, приведённое в ГОСТ Р 57546-2017 [3].

По итогам исследований получены следующие результаты: инструментальная оценка интенсивности по ШСИ-17 для всех событий – меньше 1 балла на площадках ГТС Колымской ГЭС; максимальные значения пиковых скоростей и ускорений на станциях КОLG и KOLB, согласно ГОСТ Р 57546-2017, соответствуют интенсивности сотрясений менее 1 балла по ШСИ-17.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшина Е.И., Курткин С.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Северо-Восток России и Чукотка // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 74–78. – EDN: AQHZBS

2. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – С. 20–31.

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

СЛАБАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В ЮЖНОМ ДАГЕСТАНЕ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ 2024 Г.

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

В первой половине 2024 г. в процессе обработки землетрясений и анализа распределения их очагов по территории Республики Дагестан внимание привлекла серия слабых сейсмических событий с магнитудой $1.8 \le ML \le 4.6$, эпицентры которых приурочены к Рубасскому региональному разлому и верховьям реки Самур в Южном Дагестане. Сейсмичность данного района характеризуется как фоновая. Гипоцентры сосредоточены на глубинах от 6 до 20 км.

Рубасский разлом корового заложения – один из оперяющих Касумкентский глубинный разлом, который одновременно рассматривается как Самурская поперечная флексура, выделенная на основании гравимагнитных данных [1]. Данная флексура трассируется от зоны Главного Кавказского надвига на западе до Срединного разлома на востоке в центральной части Каспия, проходя по условной линии между сёлами Курах и Белиджи. Линеамент, определяющий направление этого разлома, выявлен в среднеюрских отложениях, занимает зону так называемого Самур-Бежтинского грабена и следует вдоль продольных долин верховий Андийского и Аварского Койсу и по долине реки Самур. В окрестностях селения Касумкент 20.04.1966 г. произошло 8-балльное землетрясение с энергетическим классом *К*_P=13.8 [2]. После 1966 г. и до настоящего времени в этой зоне сильных землетрясений не наблюдалось («Землетрясения в СССР», 1964-1998 гг.; «Землетрясения России» в 2006–2021 гг.). Однако в зоне влияния этого линеамента известны сильные исторические землетрясения 5.7 ≤ M ≤ 6.5, что обусловлено характерной для Самур-Бежтинской депрессии напряжённой дизъюнктивной тектоникой. К югу от Касумкентского разлома отмечено ступенчатое погружение палеозойского фундамента и смена ориентировки, что указывает на активную роль данного разлома в перестройке структурного плана и о высоком потенциале сейсмической активности на прилегающей к нему территории.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Смирнова М.Н.* О внутреннем строении доюрского основания Терско-Каспийского передового прогиба // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1974. – № 3. – С. 10–18.

2. *Черкашин В.И., Сабанаев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И.* Тектоника Дагестана (Объяснительная записка) // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2012. – Вып. 60. – С. 86.

СВЯЗЬ ОБЛАСТИ АФТЕРШОКОВОЙ АКТИВНОСТИ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПЕРВЫХ АФТЕРШОКОВ НА ПРИМЕРЕ ХИБИНСКОГО МАССИВА

¹С.В. Баранов, д.ф.-м.н., ^{2,1}А.Ю. Моторин ¹КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты ²Кировский филиал АО «Апатит», г. Кировск

При добыче полезных ископаемых в тектонически нагруженном Хибинском массиве под воздействием повышенного горного давления происходит нарушение сплошности массива в приконтурной части, что проявляется в динамических формах, в т.ч. в виде толчков, микроударов, горных ударов и техногенных землетрясений [1]. Относительно сильные сейсмические события инициируют повторные толчки (или афтершоки) [2]. После такого события возникает вопрос – в какой области и с какой вероятностью ожидаются афтершоки?

Решение этой задачи осуществлялось с помощью машинного обучения с использованием данных многолетних сейсмических наблюдений. Обучающее множество – события, произошедшие за 0.3 суток в круге с центром в основном толчке и радиусом пять длин трещин в его очаге. Целевое множество – афтершоки с магнитудой 0.6 или выше, произошедшие через 0.3 суток после основного толчка.

Было исследовано значительное число вариантов областей афтершоков, различающихся формой, местоположением и ориентацией. Размер области определялся методом шкалирования по физическим и статистическим характеристикам. Качество прогнозной области оценивалось с помочью функции потерь, рассчитанной по диаграмме ошибок. В результате выбран оптимальный вид области в виде стадиона. Стадион – геометрическое место точек, расположенных на расстоянии не больше заданного от отрезка прямой (моделирует проекцию на поверхность Земли предполагаемого «разрыва» очага основного толчка).

С помощью анализа диаграммы ошибок, методом трёх стратегий были определены предельные размеры оптимальных областей, соответствующие различным уровням важности прогноза. Методика может быть использована для прогнозирования области распространения афтершоковой активности на месторождениях Хибинского массива после природно-техногенного землетрясения по данным оперативной обработки.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kozyrev A.A., Semenova I.E., Zhukova S.A., Zhuravleva O.G.* Factors of seismic behavior change and localization of hazardous zones under a large-scale mining-induced impact // Russian Mining Industry. – 2022. – V. 6. – P. 95–102. – DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-95-102

2. *Баранов С.В., Жукова С.А., Корчак П.А., Шебалин П.Н.* Продуктивность техногенной сейсмичности // Физика Земли. – 2020. – № 3. – С. 40–51. – DOI: 10.31857/S0002333720030011. – EDN: RYDRHF

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

¹А.А. Бах, ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ³Ю.А. Виноградов, д.т.н., ¹А.Г. Шеболтасов, ¹А.В. Дураченко ¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск ³ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Система мониторинга зданий и сооружений основывается на модели объекта, рассчитанной или построенной на основе экспериментов. В основе формирования системы мониторинга взяты экспериментальные данные метода стоячих волн [1]. Представлены данные интерпретации детальных исследований стоячих волн в двухмерном виде в зданиях в виде карт амплитуд, фаз, когерентности и др. для каждой собственной частоты объекта [2]. Данные изучения двухмерных характеристик стоячих волн в зданиях используются для построения многоточечной системы мониторинга объектов. Размещение датчиков в здании планируется с учётом узловых линий стоячих волн, чтобы не установить приборы в узлы, из которых собственные колебания не контролируются из-за интерференции волн в объекте. Расчётная модель здания в обязательном порядке требует верификации на основе изучения собственных колебаний методом стоячих волн. Экспериментальные данные полезны на этапе контроля изменений во времени поля стоячих волн, используя связи в поле стоячих волн по целому набору характеристик [3].

Задачи непрерывного сейсмического мониторинга зданий и сооружений: 1) обнаружение изменений в физическом состоянии зданий; 2) локализация области возникновения необратимых изменений конструкций; 3) оценка существования нарушений в сооружении после крупных сейсмических воздействий; 4) исследование основных характеристик источников вибраций в зданиях и сооружениях. Алгоритмы мониторинга зданий могут быть основаны на разнообразных подходах и моделях взаимосвязей в волновых полях стоячих волн. Возможными величинами при сейсмическом мониторинге здания могут быть: 1) амплитуды ускорения вынужденных колебаний; 2) частоты собственных колебаний здания; 3) логарифмические декременты затухания; 4) формы собственных колебаний; 5) фазовые соотношения в стоячих волнах; 6) анализ спектров когерентности во времени; 7) неизменность во времени частотных характеристик фильтров для пересчёта стоячих волн из точки в точку; 8) анализ спектров шумов и нелинейных эффектов; 9) поиск изменений в поле стоячих волн.

Существенно более сложной является задача обнаружения медленных изменений характеристик здания во времени, как результата старения или многократного сейсмического воздействия. В этом случае требования к системе мониторинга по аппаратуре существенно выше, и методы обработки ориентированы на другие модификации алгоритмов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А. и др.* Пересчёт стоячих волн при детальных инженерносейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 2. – С. 192–207. – EDN: SNEVAX

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., Еманов А.А., Красников А.А., Дураченко А.В.* Сейсмический мониторинг зданий и важных промышленных объектов (алгоритмы и методика) // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири. Тезисы Всероссийской конференции с международным участием. – Новосибирск, 2013. – С. 141–149. – EDN: TCAUSF

ЛОКАЦИЯ МЕСТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ SEISCOMP

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

В данной работе были рассмотрены два основных объекта изучения: локализация промышленных взрывов в гранитном карьере «Микашевичи» и локализация местных сейсмических событий в Солигорском горнопромышленном районе.

Рассматривая первый объект, отмечается точная локализация проводимых промышленных взрывов (длина подрываемых блоков – до 300 *м*) и времена инициации заряда блоков. Следовательно, при решении прямой задачи соблюдены все условия для сравнения погрешностей используемых методов и методик. При этом, сравнивая времена вступления продольных и поперечных волн со временем инициирования заряда, были получены средние скорости пробега сейсмической волны, что было использовано в аналитическом решении при локализации рассматриваемых событий.

Одним из аспектов решения задачи по локализации местных сейсмических событий стало рассмотрение аналитического решения системы уравнений «очаг-среда-сеть наблюдений». Используя допустимые ограничения по станционным параметрам, система уравнений была упрощена и решалась методом Крамера. Для сети сейсмических станций было получено облако возможных решений системы уравнений доступных для анализа.

При тестировании программного средства SeisComP для определения кинематических параметров очагов местных сейсмических событий применялись несколько годографов и два программных локализатора – LocSAT и Hypo71. В качестве годографов выбраны два стандартных IASP91 и Hypo71 [1], также в программное обеспечение SeisComp внесены собственные годографы согласно профилю «Георифт-2013» и из [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. *New Manual of Seismological Observatory Practice* (NMSOP-2) // IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam / Ed. P. Bormann. – 2012 [Электронный ресурс]. – URL: http://nmsop.gfz-potsdam.de. – DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2

2. *Аронов А.Г., Колковский В.М.* К расчёту регионального годографа сейсмических волн запада Восточно-Европейской платформы // Сейсмологический бюллетень сети сейсмических станций Беларуси за 1993 г. – Минск: Институт геологических наук АНБ, 1996. – С. 130–134.

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЁТА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

Е.А. Будилова, Е.А. Матвеенко, к.ф.-м.н. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Сейсмический шум содержит информацию о землетрясениях, вулканической активности и других природных процессах, а также о техногенных воздействиях. При этом уровень шума, регистрируемого сейсмическими приборами на конкретной станции, может зависеть от таких факторов, как время суток, время года и активность вулканов (если станция расположена вблизи вулканов). Информация о вариациях шума на каждой конкретной станции требуется для повышения качества исследований, опирающихся на данные сейсмических станций [1]. Результаты анализа сейсмического шума полезны для выявления проблем в работе станций [2].

В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН расчёт спектров плотности сейсмического шума осуществляется с 2013 г. с помощью программы, реализованной на языке Matlab [1]. Наличие некоторых недостатков в существующей программе (сложность контроля работоспособности программы, отсутствие возможности загрузки и подготовки данных для расчётов и др.) стало причиной для разработки новой программы.

Для разработки был выбран язык программирования Python, имеющий множество библиотек, позволяющих ускорить процесс разработки, в т.ч. библиотеку Obspy, которая облегчает создание программного обеспечения для сейсмологии [3] и имеет готовые методы для реализации расчёта спектральной плотности мощности шума по методике, описанной в [2]. Разработанная программа позволяет получать данные, выполнять их предварительную обработку и оперативный расчёт спектров плотности сейсмического шума, сохранять и визуализировать полученные результаты в автоматическом режиме.

В докладе рассматриваются требования к программе, реализованные возможности, особенности её функционирования.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., Матвеенко Е.А.* Исследование вариаций сейсмического шума на станциях КФ ГС РАН в 2014 году // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Пятой научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 111–116. – EDN: VPYAAJ

2. *McNamara D.E., Buland R.P.* Ambient noise levels in the continental United States // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2004. – V. 94, N 4. – P. 1517–1527. – DOI: 10.1785/012003001

3. *Krischer L., Megies T., Barsch R., Beyreuther M., Lecocq T., Caudron C., Wassermann J.* ObsPy: a bridge for seismology into the scientific Python ecosystem // Computational Science & Discovery. – 2015. – V. 8, N 1. – 014003. – DOI: 10.1088/1749-4699/8/1/014003

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ КАТАЛОГА ISC И РЕЗУЛЬТАТОВ ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТУРКМЕНИСТАНА

В.Ю. Бурмин, д.ф.-м.н., Г.Р. Петросян, к.ф.-м.н. ИФЗ РАН, г. Москва

Вопросам сейсмичности территории Туркменистана посвящено не так много работ. Наиболее полное освещение сейсмичности Туркменистана даётся в периодическом издании ФИЦ ЕГС РАН «Землетрясения Северной Евразии», в частности, в одном из последних журналов [1]. По геологическим и сейсмотектоническим признакам территорию Туркменистана можно разделить на три района: Прикопетдагский район (Центральная Туркмения); Красноводский район (Западная Туркмения); Восточная Туркмения [2]. Согласно результатам наблюдений за землетрясениями, наиболее высокая сейсмическая активность отмечается в районах Западной Туркмении, Ашхабадском и граничащим с ним на юге Ширван-Кучанском районе (провинция Хорасан) в Северном Иране [3].

Сравниваются распределения гипоцентров землетрясений Туркменистана по данным каталога ISC за период с 1964 по 2021 г. и результаты их пересчёта за этот же период. Всего каталог ISC за указанный период содержит около 6000 событий с магнитудой больше 2.5. Авторами пересчитаны гипоцентры чуть больше 2100 землетрясений. Показано, что глубины очагов землетрясений в рассматриваемых районах могут располагаться на глубинах до 500 км (возможно до 600 км, в зависимости от выбранной скоростной модели региона), в то время как по данным каталога ISC максимальные глубины очагов не превосходят 100 км.

Одним из важных вопросов при интерпретации данных землетрясений является вопрос выбора скоростной модели региона или годографа сейсмически волн. В [1] в качестве скоростной модели для различных тектонических элементов Туркменистана принимаются модели, приведённые в [4]. Нами эти модели продолжены на большие глубины путём обращения годографов от глубоких землетрясений [5, 6]. Приведены сравнения результатов расчётов теоретических годографов для некоторых глубоких землетрясений по данным каталога ISC и данным, полученным после пересчёта координат этих землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сарычева Г.Ч., Петрова Н.В., Безменова Л.В.* Сейсмичность Копетдагского региона в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26. – С. 92–101. – DOI: 10.35540/1818-6254.2023.26.07. – EDN: XYPFCV

2. Сейсмичность Туркмении / Отв. ред. Р.Д. Непесов. – Ашхабад: Ылым, 1968. – 201 с.

3. *Рустанович Д.Н.* Сейсмичность территории Туркменской ССР и Ашхабадское землетрясение 1948 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1967. – Вып. 12. – 95 с.

4. *Рахимов А.Р., Славина Л.Б.* Региональный годограф Копетдагской сейсмической зоны // Известия АН ТССР. Серия ФТХиГН. – 1984. – № 3. – С. 31–38.

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

6. Бурмин В.Ю., Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А. Регистрация локальных землетрясений под Удинскими вулканами (Камчатка) региональными и временными сейсмическими станциями. Уточнение скоростной модели путём обращения годографа от глубинного источника // Сейсмические приборы. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 48–60. – DOI: 10.21455/si2019.3-3. – EDN: QWCCGD

АНАЛИЗ ОТКЛОНЕНИЙ ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ СКОРОСТЕЙ СМЕЩЕНИЙ ОТ ПРОГНОЗНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРИ ВЗРЫВАХ НА КАРЬЕРЕ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА

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

Представленные ранее результаты мониторинга сейсмического воздействия взрывов, проводимых на известковом карьере [1], позволили оценить влияние различных факторов на сейсмический эффект в пунктах наблюдения временной сети стационарных сейсмических станций. Прогнозирование скорости смещения грунта основано на уточнённой зависимости скорости смещения от приведённого расстояния в условиях конкретного горнодобывающего предприятия. Данные о пространственной изменчивости коэффициентов резонансного усиления грунтами позволяют существенно улучшить прогнозные оценки сейсмического воздействия взрывов.

В работе представлены результаты восьмилетнего мониторинга сейсмического воздействия взрывов в стационарных пунктах наблюдения. Выполнено сравнение отклонений зарегистрированных скоростей смещений от прогнозной зависимости как для взрывов в одиночных скважинах, так и для короткозамедленного взрывания блоков. Доказано, что в условиях данного горнодобывающего объекта неточная работа неэлектронной системы инициирования не оказывает существенного влияния на точность прогноза сейсмического эффекта.

Рассчитанные графики отклонений измеренных амплитуд от прогнозных показали отсутствие влияния сезонного фактора (промерзание грунта, уровень грунтовых вод). Однако выполненное сопоставление ошибок прогноза для станций, расположенных в разных частях охраняемых территорий, выявило закономерности, позволяющие улучшить результаты прогноза сейсмического эффекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500029-1).

ЛИТЕРАТУРА

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

ОЩУТИМОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 8 АВГУСТА 2023 Г., *I*₀=5.4, И СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНАЯ ЗОНА «ТАБОРЫ» (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)

^{1,2}Ф.Г. Верхоланцев, ^{2,1}Д.Ю. Шулаков, к.т.н., ²Ю.В. Варлашова ¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь ²«ГИ УрО РАН», г. Пермь

8 августа 2023 г. в $01^{h}28^{m}30^{s}$ в районе посёлка Таборы (Пермский край) произошло землетрясение с макросейсмической интенсивностью $I_0=5.4\pm0.1$ (по ШСИ-2017 [1]), $K_{\rm P}=9.8, ML=3.4$. Данное событие стало первым в XXI в. ощутимым землетрясением, очаг которого находится в пределах Пермского края. По инструментальным данным Уральской региональной сейсмологической сети, эпицентр землетрясения расположен примерно в 10 км на северо-восток от посёлка Таборы и имеет координаты $\varphi=58.750^{\circ}$ N, $\lambda=57.141^{\circ}$ E при глубине очага h=3.6 км.

Помимо посёлка Таборы, где было выполнено макросейсмическое обследование и получено десять уникальных анкет, землетрясение также ощущалось в населённых пунктах Парма, Милково, Тихая, Канюки и Усть-Пожва. Однако, в связи с труднодоступностью территории, в этих посёлках обследование выполнить не удалось. Вместе с тем, учитывая небольшой размер зоны ощутимости ($R \sim 10 \ \kappa m$), интенсивность, полученную в Таборах, можно принять за I_0 =5.4 при ошибке I=±0.1, полученной по 25 определениям по категориям-сенсорам (ШСИ-2017).

Землетрясение 8 августа 2023 г. не стало неожиданным – его эпицентр расположен в пределах уникальной для Уральского региона сейсмически активной зоны «Таборы». За период инструментальных наблюдений с 2002 по 2024 г. в достаточно локальной ($L \le 30 \ \kappa m$) зоне, расположенной вдоль среднего течения реки Косьвы между посёлками Таборы и Парма, зарегистрировано 172 события с магнитудами *ML* в диапазоне 0.8÷3.4. График повторяемости землетрясений для событий данной зоны имеет вид:

$$\lg N=3.53-1.44\cdot ML$$
,

(1)

при ошибке определения *b-value*=±0.13. Величина *b-value* для событий в сейсмически активной зоне «Таборы» значимо отличается от *b-value*=0.69±0.06, ранее полученного для всего Урала в целом, и характерна скорее для континентальных рифтов, чем для платформенных территорий. Глубины событий в 3–8 км надёжно определены по данным временных станций, которые устанавливались непосредственно в сейсмически активной зоне «Таборы» в разные периоды 2019–2023 гг. Это исключает приповерхностную природу очагов и однозначно определяет их как тектонические. При этом глубина гипоцентров событий лежит ниже кровли кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы в данном районе и соответствует его разломно-блоковой структуре.

За исторический период в марте и ноябре 1911 г. [2] в данном районе были отмечены землетрясения с макросейсмическими проявлениями до 5 баллов (по шкале MSK-64 [3]). При этом толчки носили повторяющийся характер: 6–7 марта 1911 г. – пять ощутимых толчков в течение 20 часов, 8–9 ноября 1911 г. – семь толчков в течение 7 часов. Такой же роевой характер сейсмического процесса выявлен и по инструментальным наблюдениям. Можно с уверенностью утверждать, что исторические и наблюдаемые сейчас землетрясения связаны с одним и тем же сейсмическим процессом и имеют тектоническую природу.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200146265

2. *Сюзев П.В.* О землетрясении по р. Косьве в Пермском уезде. – Пермь: Типо-литография Пермского Губернского Правления. – 1911. – С. 1.

3. *Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ И ХОРВАТИИ ПО ДАННЫМ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ БЕЛАРУСИ И КРЫМА

¹А.Е. Вольвач, д.ф.-м.н., ²А.Г. Аронов, д.ф.-м.н., ²Г.А. Аронов, ¹Л.П. Коган, к.ф.-м.н., ¹Л.Н. Вольвач, к.ф.-м.н. ¹ФГБУН «КрАО РАН», г. Ялта ²ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Проблема прогнозирования землетрясений заключается в их сложной и непредсказуемой природе. Научные методы предсказания землетрясений все ещё находятся в стадии разработки, и нет полной гарантии точности предсказаний. В настоящее время большинство усилий направлено на раннее предупреждение и меры обеспечения безопасности в случае возникновения землетрясений.

Регион от Балтийского моря до Средиземного включает разнообразные геологические и тектонические условия, которые создают уникальные возможности для изучения геофизических явлений. Изучение данных магнитовариационных станций в Беларуси и Крыму позволяет получать ценную информацию о геофизических процессах, что важно как для научных исследований, так и для практического применения в прогнозировании природных катастроф и изучения дислокации природных ресурсов.

По данным измерений магнитного поля, проведённых на магнитовариационных станциях SEC («Плещеницы», Беларусь) и SIM («Кацивели», Крым), рассматриваются предвестники землетрясений 29 декабря 2020 г. недалеко от хорватского города Петринча [1] и 6 февраля 2023 г. на юго-востоке Турции.

Применяемый подход связан с исследованием изменения энтропии измеряемых полей, которое возникает вследствие активизации процессов разломов литосферных плит непосредственно перед землетрясением [2, 3]. Удалось выявить феномен процессов с высокой степенью детерминированности, возникающих перед сейсмическими событиями. Важным практическим применением объединения магнитовариационных станций Беларуси и Крыма является как мониторинг и прогнозирование землетрясений, так и изучение особенностей расположения геологических структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Volvach A.E., Kogan L.P., Volvach L.N., Kanonidi K.H., Bubukin I.T., Shtenberg V.B., Aronov A.G., Aronov G.A., Pustoshilo L.L. Statistical precursors of the 6.4 magnitude earthquake on December 29, 2020, near Petrinja town, Croatia // Journal of Earth System Science. – 2024. – V. 133. – A. 64. – DOI: 10.1007/s12040-024-02273-8

2. Volvach A.E., Kogan L.P., Kanonidi K.H., Nadezhka L.I., Bubukin I.T., Shtenberg V.B., Gordetsov A.S., Krasnikova O.V., Kislitsyn D.I. Changes in the properties of the statistics of physical and biophysical fields as earthquake precursor // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2022. – V. 108. – A. 106200. – DOI: 10.1016/j.cnsns.2021.106200

3. Volvach A.E., Kogan L.P., Kanonidi K.H., Bubukin I.T., Shtenberg V.B., Volvach L.N., Biazitov D.T. Statistical precursors of a strong earthquake on April 6, 2009 on the Apennine Peninsula // Heliyon. – 2022. – V. 8, N 8. – A. 10200. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10200

ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н., ^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н., ³Н.Н. Титков, ¹Н.С. Щевьёва ¹ИО РАН, г. Москва ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск ³КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Интенсивное освоение тектонически активных регионов Земли делает особенно актуальным вопрос изучения региональных геодинамических процессов с целью прогнозирования опасных явлений и снижения риска и последствий природных катастроф. Решение этой важнейшей задачи тесным образом связано с необходимостью получения информации о современных движениях земной поверхности и её напряжённо-деформированном состоянии, обусловленном в значительной степени разломно-блоковым строением земной коры и литосферы. Активное развитие плотных сетей станций спутниковых геодезических (ГНСС) наблюдений в тектонически активных регионах в сочетании с бурно развивающейся технологией машинного обучения позволяет создать новые подходы к исследованию особенностей региональных полей современных движений земной поверхности и перейти к изучению закономерностей их формирования. Такой подход представляется вполне оправданным, поскольку данные ГНСС сами по себе несут достаточно информации о характере современного деформирования земной коры, а извлечение этой информации возможно при помощи специализированных количественных методов «больших данных» и машинного обучения, таких, как восстановление регрессии, фильтрация, интерполяция, кластеризация и др. [1]. Обработка временных рядов ГНСС-наблюдений, как правило, осложнена наличием во временных рядах пропусков данных, выбросов, наличием тренда, сезонности и скачкообразных смещений. В рамках настоящего исследования разработаны теоретические основы и создана программная реализация алгоритма обработки временных рядов ГНСС-наблюдений с использованием робастных методов оптимизации, автоматизированных алгоритмов очистки и модификации данных и использования методов машинного обучения при решении задачи восстановления регрессии. Кроме того, созданы алгоритмы и их программная реализация для решения задач последующей интерпретации полученных результатов с целью восстановления вариаций поля современных движений и деформаций земной поверхности. В дальнейшем полученные вариации исследуемых полей были использованы для признакового описания точек земной поверхности при решении задачи кластеризации с целью выделения доменов и их пространственновременных вариаций [2]. Апробация созданной методики была проведена с использованием данных сети ГНСС-станций Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

Представленные результаты позволят создать теоретические и практические основы универсального инструмента для анализа вариаций полей современных движений и деформаций земной поверхности с целью выделения региональной разломно-блоковой структуры и локализации областей повышенной геодинамической опасности на основе применения новых методов анализа данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-27-00176).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гвишиани А.Д., Добровольский М.Н., Дзеранов Б.В., Дзебоев Б.А.* Большие данные в геофизике и других науках о Земле // Физика Земли. – 2022. – № 1. – С. 3–34. – DOI: 10.31857/S0002333722010033. – EDN: SLGXHR

2. *Мазуров Б.Т.* Геодезические методы изучения геодинамических процессов: учебник. – СПб.: Лань, 2020. – 324 с.

ШКАЛА ЛОКАЛЬНЫХ МАГНИТУД *ML* ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н., Е.А. Селиванова, А.С. Зверева ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Многие годы в каталогах землетрясений Северного Кавказа в качестве энергетической оценки массово использовались две величины: энергетический класс K_P по номограмме Т.Г. Раутиан, построенной для короткопериодных приборов ВЭГИК и СКМ [1], и магнитуда по *P*-волне *MPVA*, принятые в качестве стандартных при производстве и обработке данных в Единой системе сейсмологических наблюдений (ЕССН) [2]. В мировой практике наиболее распространённой оценкой силы землетрясений на локальных и региональных расстояниях ($\Delta \le 500 \ \kappa m$) является локальная магнитуда *ML*. Шкала магнитуд *ML* впервые была предложена Ч. Рихтером в 1935 г. для Южной Калифорнии, для внедрения её в других регионах требуется расчёт функции затухания максимальных амплитуд с расстоянием для конкретного района.

Развитие сети сейсмических станций на Северном Кавказе во второй декаде XXI в. позволило накопить информацию, необходимую для исследования затухания амплитуд сейсмических волн с расстоянием как для отдельных зон (это уже было сделано для Терско-Каспийского прогиба Северного Кавказа [3]), так и в целом для всего региона. Работы по построению калибровочной функции или шкалы магнитуды *ML* были проведены отдельно для западной, центральной и восточной зон и обобщены для всего региона.

Исследуемый набор состоял из станционных данных от 208 землетрясений за период 2017–2022 гг., записанных 72 станциями, удалёнными от эпицентров на расстояния от 5 до 550 км, и с предварительными оценками магнитуд *ML*=1.5–5.1. Для построения функции затухания амплитуд, замеренных на симулированных записях прибора Вуда-Андерсона, использована программа MagScale P.A. Дягилева [4].

Получены зависимости (формулы 1–4), которые будут использованы для широкого внедрения расчёта *ML* для всех землетрясений Северного Кавказа: 1 – вся выборка, 2 – западная зона, 3 – центральная зона, 4 – уточнённая для восточной зоны, где *S* – станционная поправка:

$ML = \lg(A) + 1.191 \cdot \lg(R) + 0.001476 \cdot R - 2.202 + S,$	(1)
--	-----

$$ML = \lg(A) + 1.354 \cdot \lg(R) + 0.001382 \cdot R - 2.514 + S,$$
(2)
$$ML = \lg(A) + 1.260 \lg(R) + 0.001427 \cdot R - 2.226 + S$$
(2)

$$ML = \lg(A) + 1.260 \cdot \lg(R) + 0.001427 \cdot R - 2.336 + S,$$
(3)

$$ML = \lg(A) + 1.036 \cdot \lg(R) + 0.001811 \cdot R - 1.924 + S.$$
(4)

Рассчитаны станционные поправки *S* для многих станций, при применении которых уменьшается общая невязка шкалы локальных магнитуд примерно на 0.1 единицы *ML*.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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.* Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Тр. ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.

2. Кондорская Н.В., Аранович З.И., Соловьева О.Н., Шебалин Н.В. (отв. сост.). Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1981. – С. 108–117.

3. Дягилев Р.А., Габсатарова И.П., Селиванова Е.А. Шкала локальных магнитуд *ML* для землетрясений в Терско-Каспийском прогибе // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 2. – С. 19–31. – DOI: 10.35540/2686-7907.2023.2.02. – EDN: FEJGPK

4. *Дягилев Р.А.* Расчёт параметров локальной шкалы магнитуд, MagScale / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022666504 от 05.09.2022. – EDN: KDVZVH

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ТАНЗАНИИ: ОТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ К УСТОЙЧИВОМУ ОСВОЕНИЮ

^{1,2}Н.К. Гайдай, к.г.-м.н., ^{2,1}И.М. Хасанов, к.г.-м.н. ¹ФГБОУ ВО «СВГУ», г. Магадан ²СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

Сейсмические исследования играют важную роль в определении перспектив разведки минеральных ресурсов на территории Танзании. Их результаты позволяют локализовать зоны с высоким потенциалом на обнаружение золоторудных месторождений. Территория наших исследований находится в пределах неоген-раннечетвертичного палеобассейна озера Виктория. Геологическое строение территории характеризуется наличием мощной толщи рыхлых озёрных отложений преимущественно озёрного генезиса. В западной части участка отмечена серия диоритовых даек, ограничивающая крупный массив зеленокаменных пород, относящийся к поясу Гейта. Большая часть исследуемой площади дренируется долиной реки Маоме и её притоками.

Геофизические исследования включали в себя магниторазведку, сейсморазведку и электрозондирование. Магниторазведочные работы решали задачи геологического картирования территории, выявления интрузивных образований и железистых кварцитов, а также выделения и прослеживания главных разрывных нарушений. Сейсморазведочные и электроразведочные работы решали задачи расчленения разреза рыхлых отложений на отдельные горизонты и оценки морфологии рельефа жёсткого основания коренных пород, а также выделения ложков и погребённых палеорусел, потенциально перспективных для образования аллювиальных месторождений золота.

Сейсмические исследования, проведённые методом преломлённых волн [1, 2] по трём профилям, установили трёх-четырёхслойный характер разреза территории. Мощность рыхлых отложений в целом по исследуемой территории составляет от 25–45 *м* (в западной части территории) до 70 *м* (в центральной и восточной части).

Объектом поиска становятся локально размещённые участки окварцованных железистых кварцитов (BIF), которые имеют контрастные параметры в сравнении с вмещающими горными породами. Эти участки являются компетентной средой для размещения золоторудной минерализации в промышленных масштабах и являются источником формирования богатых россыпей. Локальные магнитные аномалии фиксируют прогнозируемые участки распространения BIF, которые могут содержать золотоносные руды и их россыпи.

Устойчивое освоение минерально-сырьевой базы Танзании требует интеграции различных геофизических методов, включая малоглубинные сейсмические исследования. Их результаты позволяют локализовать зоны с высоким потенциалом на обнаружение как рудно-россыпных месторождений золота, так и проявлений алмазов, которые имеют свои характерные акустические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гайдай Н.К., Хасанов И.М.* Перспективы использования сейсморазведки при поиске и разведке аллювиальных месторождений золота // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 33. – EDN: WIBHEF

2. Давыдов В.А. Применение малоглубинной сейсморазведки для изучения подработанных территорий // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 111–116. – EDN: OETRBJ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ»

А.Ж. Галин ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

История советских сейсмологических наблюдений на территории Антарктиды началась с установки в 1956 г. сейсмической станции «Мирный» (MIR). В 1961 г. была построена ещё одна советская антарктическая сейсмическая станция «Новолазаревская» (NVL), начавшая регистрацию 1 апреля 1962 года. На обеих станциях долгое время работало аналоговое оборудование. Станции «Мирный» и «Новолазаревская» с самого начала работы были включены в Единую сеть сейсмологических наблюдений СССР, главной задачей которой являлось обеспечение непрерывного мониторинга сейсмоактивных зон земного шара, включая Россию [1].

В 1999 г. на станции «Новолазаревская» была установлена широкополосная 16-разрядная цифровая аппаратура SDAS [2]. В 2020–2021 гг. появилась недорогая сотовая связь, в связи с чем появилась возможность передачи данных в Центральное отделение (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН в г. Обнинск в режиме, близком к реальному времени. Для модернизации станции было приготовлено современное оборудование: трёхкомпонентный широкополосный сейсмометр Trillium Compact TPC120 и 24-битный АЦП Centaur.

В течение 68-й Российской антарктической экспедиции были произведены монтаж и пуско-наладка оборудования. Для защиты от накопления статического электричества на линиях передачи данных от штольни до пункта сбора данных была смонтирована линия Wi-Fi. Данные передаются в помещение сейсмостанции «Новолазаревская», где установлен роутер для передачи данных в Обнинск и на компьютер для локального сбора данных. В последующие месяцы были проведены тесты по возобновлению работы аппаратного комплекса в автоматическом режиме при аварийных ситуациях. Выявляемые недостатки в настройках системы планомерно исправлялись.

Передача непрерывных цифровых данных в ЦО ФИЦ ЕГС РАН стартовала 21 июня 2023 года. Частота оцифровки – 100 *отс/с*, привязка временной шкалы – система GPS. Станция NVL была подключена к Службе срочных донесений, на регулярной основе создаётся станционный бюллетень.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., Бадальян 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

2. Пятунин М.С., Галин А.Ж., Горожанцев С.В. Модернизация оборудования на сейсмической станции «Новолазаревская», Антарктида // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: сборник научных трудов / Гл. ред. В.И. Костицын. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – Вып. 6 (11). – С. 177–182. – EDN: WTVLTQ

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БАЙКАЛО-ОЛЁКМИНСКИЙ УЧАСТОК ТРАССЫ БАМ

¹Н.А. Гилёва, ^{1,2}В.И. Мельникова, д.г.-м.н., ¹Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н., ³А.И. Филиппова, к.ф.-м.н. ¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск ²ИЗК СО РАН, г. Иркутск ³ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

Байкало-Олёкминский район Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), расположенный на её северо-восточном фланге, выделяется повышенной сейсмической активностью и наличием достаточно сильных сейсмических событий, среди которых можно отметить сильнейшее в Восточной Сибири Муйское землетрясение 27.06.1957 г. (*MLH*=7.6) [1].

В последние десятилетия данная территория активно развивается в направлении строительства и эксплуатации промышленных и гражданских объектов, при этом особое экономическое и стратегическое значение здесь имеет участок Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ). Согласно ОСР-2015 [2], этот участок относится к 9-балльной зоне, однако поступление новых данных требует определённой корректировки существующих на сегодня оценок сейсмической опасности. Необходимо отметить, что рассматриваемая территория имеет малую плотность населения и недостаточное количество сейсмических станций, что существенно затрудняет получение нужного объёма макросейсмической информации. Вместе с тем, за период эксплуатации Байкало-Олёкминского участка БАМ (1985-2021 гг.) на основе каталога из 270 землетрясений с MS=2.1-6.6 удалось получить дополнительную информацию о сейсмической опасности рассматриваемой территории [3]. Отметим, что большинство очагов этих событий располагалось в средней коре на расстояниях менее 20 км от трассы БАМ. По параметрам землетрясений была рассчитана интенсивность сейсмических колебаний на кратчайших расстояниях от эпицентров до трассы БАМ. Установлено, что опасная интенсивность сотрясений *I*=9–10 баллов может наблюдаться на железнодорожном полотне в пределах рассматриваемого участка приблизительно 1 раз в 97 лет и 164 года соответственно. Что касается удалённых сильных землетрясений ($\Delta = 350 - 1000 \ \kappa m$), то сопровождавшие их макросейсмические эффекты не оказывают серьёзного влияния на рассматриваемый участок трассы. В конечном итоге полученные оценки интенсивности сотрясений и их повторяемости на железнодорожном полотне трассы БАМ подтверждают «запас прочности» на появление катастрофических интенсивностей сотрясений, заложенный в картах ОСР-2015.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – С. 315–338.

2. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации OCP-2015. Приложение А // СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. – М.: Стандартинформ, 2018. – С. 59–99. – URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736459.pdf

3. *Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Филиппова А.И.* Оценка интенсивности сейсмических колебаний на Байкало-Олёкминском участке Байкало-Амурской железнодорожной магистрали // Тихоокеанская геология. – 2024. – Т. 43, № 4. – С. 69–79. – DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-4-69-79

СЕЙСМИЧНОСТЬ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛОТИНУ НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС

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

Данные, полученные с помощью сети региональных сейсмических станций Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН, говорят о том, что в Новосибирской области присутствуют не только природные сейсмоактивные зоны, но и потенциальные источники техногенной сейсмичности, приуроченные к областям промышленной добычи угля [1]. Горловский угольный бассейн является одним из крупнейших объектов промышленной деятельности в пределах Новосибирской области. В последние годы отмечается существенное увеличение не только количества сейсмических событий, но также и увеличение уровня максимальных магнитуд. Развитие наблюдаемых процессов может привести к возникновению крупных землетрясений, которые окажут негативное воздействие на близлежащий объект критической инфраструктуры – плотину Новосибирской ГЭС. Примером такого события является Бачатское землетрясение (18.06.2013 г., *ML*=6.1) [2], произошедшее в районе одноименного угледобывающего разреза в Кемеровской области.

На плотине Новосибирской ГЭС установлена сейсмическая станция, что позволяет оценить уровень воздействия сейсмических событий на плотину. Согласно последним исследованиям, наибольшее воздействие расчётной интенсивностью 3.4 балла соответствует Бачатскому землетрясению [3].

Сравнивая масштабы добычи угля в Бачатском и Колыванском разрезах, нельзя исключать возможность развития сейсмических событий в Горловском угольном бассейне до магнитуд, сопоставимых с магнитудой Бачатского землетрясения. Поэтому процессы, происходящие в районах промышленной деятельности человека, нуждаются в непрерывном и детальном наблюдении посредством сети сейсмостанций.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., 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

2. *Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В.* Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с *ML*=6.1, *I*₀=7 (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 48–61. – DOI: 10.35540/2686-7907.2020.1.05. – EDN: NFOYQV

3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Полянский П.О., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Ершов Р.А., Бах А.А., Серёжников Н.А. Сейсмические воздействия на плотину Новосибирской ГЭС // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2023. – Т. 10, № 3. – С. 50–55. – DOI: 10.15372/FPVGN2023100308. – EDN: ACVQGO

УТОЧНЕНИЕ ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА «ГРОСС»

^{1,2}Н.Н. Гриб, д.т.н.,¹Г.В. Гриб, к.г.-м.н., ³И.И. Колодезников, д.г.-м.н. ¹ТИ (ф) СВФУ, г. Нерюнгри ²ФГБОУ ВО «ТОГУ», г. Хабаровск ³АН РС(Я), г. Якутск

Исследования по уточнению общего сейсмического районирования являются актуальными, и вместе с тем результаты могут быть неоднозначными. Актуальность исследований определяется не только сейсмобезопасностью объектов строительства, но и экономической составляющей. Так, увеличение сейсмической опасности на 1 балл влечёт за собой удорожание стоимости строительства от 13 до 20%.

Район расположения реконструируемого горно-обогатительного комбината «Гросс» – Юго-Западная Якутия, территория которой относится к сейсмоопасным. Согласно карте OCP-2015 с индексами А, В и С, сейсмичность района строительства равна 9, 9 и 10 баллам по шкале MSK-64 соответственно [1].

В результате анализа материалов геодинамически активных неотектонических зон, установлено наличие активных структур, способных генерировать землетрясения с магнитудами *M*=6.5–7.0 [2].

Уточнение уровня исходной сейсмичности участка изысканий выполнено с использованием методологии вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО), которая подробно изложена в публикации [3].

Входными данными для проведения ВАСО являлись параметры сейсмотектонической модели, заложенной в разработку карт ОСР-97, реализованные в пакете программ PRB-60 [3]. Актуализированное в 2016 г. программное обеспечение получило название "EAST-2016" и предназначено для расчётов вероятностных оценок сейсмической опасности [4].

Применение методологии вероятностного анализа сейсмической опасности, реализованной в программе EAST-2016, позволило адекватно оценить уровень сейсмической опасности для периодов повторяемости T=500, 1000 и 5000 лет, который составил I=8, 8.3 и 9.1 балла по шкале MSK-64 соответственно. В результате деагрегационного анализа сейсмической опасности установлено, что основной вклад в расчётную сейсмичность вносят землетрясения с магнитудой MLH=5.0±0.5 и гипоцентральным расстоянием 10±5 км для T=500 и 1000 лет, для периода 5000 лет – с MLH=5.5±0.5 и гипоцентральным расстоянием 10±5 км.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *СП* 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. – М.: Стандартинформ, 2018. – 208 с. – URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736459.pdf

2. *Имаева Л.П., Мельникова В.И., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Мельников А.И., Гриб Н.Н.* Эволюция сейсмотектонических процессов восточного фланга Байкальской рифтовой зоны. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2012. – 182 с. – EDN: VHVNGV

3. *McGuire R.K.* Seismic hazard and risk analysis. – Earthquake Engineering Research Institute, 2004. – 221 p.

4. *ПМО ВОСТОК-2016 (EAST-2016)* [Электронный pecypc]. – URL: https://yadi.sk/d/XeEGf8jY8FswYQ

О СПОСОБЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОТИН И ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СУЛАКСКОГО КАСКАДА ГЭС

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

Высотные здания и сооружения являются объектами повышенной ответственности. При определённых условиях они подвержены негативным воздействиям, вызванным влиянием на них различных естественных и техногенных факторов. Ввиду этого, при эксплуатации сооружения необходим контроль его технического состояния и динамических воздействий, несущих опасность для его конструкции.

Исследование посвящено развитию разрабатываемых в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН методов неразрушающего контроля состояния сооружений и оборудования. Метод основан на анализе амплитудно-частотного состава колебаний сооружения и колебаний, вызванных работой оборудования [1]. Метод позволяет определять изменения амплитудночастотных характеристик вышеописанных колебаний, и при некоторых их пороговых значениях делать вывод о существующих или развивающихся дефектах, опасных режимах работы оборудования или опасных для конструкций воздействиях.

В работе показаны результаты применения данного метода для выделения колебаний, вызванных работой гидротехнических сооружений Сулакского каскада ГЭС (Дагестан) – Чиркейской (высотой 232 *м*, длина по гребню 338 *м*) и Миатлинской гидроэлектростанциями (высота 87 *м* и длина по гребню 179 *м*).

В результате спектрального анализа зарегистрированных сейсмических сигналов, полученных с пунктов наблюдения, установленных вдоль Сулакского каньона, удалось выделить вынужденные колебания, вызванные собственными колебаниями тел плотин и работой оборудования гидроэлектростанций. Выделены колебания с частотами 3.33, 2.08 Γu и кратные им, отвечающие за работу оборудования на Чиркейской и Миатлинской гидроэлектростанциях. Определены низкочастотные наборы колебаний, отвечающие собственным колебаниям тел плотин Чиркейской и Миатлинской ГЭС, причём показания, полученные со стационарной станции, установленной на постамент в пункте «Дубки» (удаление ~4.5 км), наиболее тесно коррелируют с изменением режимов работы оборудования на Чиркейской ГЭС. Это позволяет применить к ней способ удалённого мониторинга технического состояния крупных промышленных сооружений и оборудования, разрабатываемого в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., Громыко П.В., Кречетов Д.В. Методика дистанционного контроля над состоянием оборудования и сооружений гидроэлектростанций по данным сейсмических наблюдений // Гидроэлектростанции в XXI веке. Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, специалистов, аспирантов и студентов. – 2016. – С. 80–87. – EDN: VXRRUL

НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЛОКАЛЬНОЙ ШКАЛЫ МАГНИТУД

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

Локальная магнитуда (магнитуда по Рихтеру, *ML*) считается одной из первых и наиболее удачных мер оценки силы очага землетрясения, ставшей в дальнейшем основой для разработки других типов магнитуд. Несмотря на ряд недостатков и архаизмов, присутствующих в методике расчёта, она до сих пор остаётся востребованной, так как является референсной величиной, позволяющей корректно сравнивать очаги, зарегистрированные как старыми аналоговыми сейсмографами, применявшимися в XX в., так и современными цифровыми приборами.

Локальная шкала магнитуд привязана к конкретному региону и имеет ряд ограничений: подходит для изучения сравнительно неглубоких коровых очагов; применима на расстояниях до 600 км; работает только для очагов средней силы. В то же время ею легко пользоваться, она входит в стандартный набор инструментов большинства популярных программ обработки сейсмических сигналов. Однако не для всех сейсмических регионов известна форма калибровочной кривой, учитывающая местные особенности затухания волн. На практике часто используются единые коэффициенты, заложенные изначально в программное обеспечение, а дальнейшее согласование шкалы осуществляется путём ввода поправочных величин. Данный подход не является прямым и наверняка вносит ошибки, оценить которые возможно лишь спустя продолжительное время с накоплением большого числа данных. Также он не гарантирует сходимость шкалы во всём применяемом диапазоне измеряемых величин амплитуд и расстояний.

Для облегчения задачи разработки адаптированной к конкретному региону калибровочной кривой шкалы *ML* создана программа MagScale [1], позволяющая рассчитать коэффициенты затухания в соответствии с классическим определением шкалы Рихтера. Исходными данными для расчёта являются координаты станций и стандартные бюллетени в формате ISF, содержащие результаты измерений амплитуд колебаний от землетрясений в симуляции Вуда-Андерсона. В расчётах имеется возможность учесть ограничения в области определения исходных данных, выбрать опорную точку для привязки экспериментальных данных и установить к ним критерии отбора по качеству и минимальному количеству. Результатом расчёта являются: калибровочная кривая в виде набора коэффициентов, станционные магнитудные поправки, инфографика и ряд статистических характеристик, позволяющих оценить внутреннюю сходимость шкалы.

Инструмент MagScale прошёл апробацию в ряде регионов [2, 3] и предлагается к широкому использованию, особенно в районах, где шкала *ML* ещё не разработана.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дягилев Р.А. Расчёт параметров локальной шкалы магнитуд, MagScale / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022666504 от 05.09.2022. – EDN: KDVZVH 2. Дягилев Р.А., Габсатарова И.П., Селиванова Е.А. Шкала локальных магнитуд *ML* для землетрясений в Терско-Каспийском прогибе // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 2. – С. 19–31. – DOI: 10.35540/2686-7907.2023.2.02. – EDN: FEJGPK

3. *Носкова Н.Н., Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г.* Шкала *ML* для Тимано-Североуральского региона // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 199–201. – DOI: 10.35540/903258-451.2021.8.36. – EDN: BVMFIO

СТРУКТУРА СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В ПРИХУБСУГУЛЬЕ

^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ¹И.Ф. Ешкунова, ^{1,2}А.В. Фатеев, к.ф.-м.н., ¹Е.В. Шевкунова, ³Е.А. Кобелева, к.ф.-м.н., ¹Е.А. Гладышев, ¹В.В. Арапов ¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск ³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Исследования выполнены по данным Международного эксперимента [1] с временной сетью станций в 2014–2016 гг. в Прихубсугулье и по данным исследований со стационарными станциями Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН и сейсмостанциями Монголии. Детально изучено развитие афтершоковых процессов Хубсугульских землетрясений 2014 г. с ML=5.5, и 2021 г. с ML=6.9 [2, 3], Бусингольского землетрясения 1991 г. с M_S=6.5, Тувинских землетрясений 2011 г. с ML=6.7 и 2012 г. с ML=6.8 и др. Обработка эксперимента с локальной сетью станций выполнена с использованием алгоритмов искусственного интеллекта. За двухлетний период регистрации получены данные об очагах около 5.5 тыс. землетрясений, в то время как для этого периода каталог землетрясений имел около 1 тыс. землетрясений. Уникальные данные получены об афтершоках Хубсугульского землетрясения 2014 года. Переход на изучение активности очаговой области на существенно меньших энергиях позволил изучить информацию о структуре и размерах очаговой области. Установлено, что землетрясение 2014 г. связано с активизацией разлома под озером, а событие 2021 г. – это активизация прибрежной разломной структуры. После землетрясения 2021 г. отмечается сейсмическая активизация граней блочной структуры в приграничной области Байкальского рифта и Алтае-Саянской складчатой области, к которым приурочены крупнейшие землетрясения, названные ранее. Принципиально новым в изменении сейсмического режима является возникновение Дархадского роя землетрясений на ранее несейсмичной территории. Крупнейшие землетрясения района, возникающие у границ блоков, охватывают ветвящиеся разломы и активизируют процессы около других граней блочной структуры. Уникальной является сейсмическая активизация, вызванная Бусингольским землетрясением 1991 года. Длящаяся десятилетиями, пульсирующая по числу землетрясений в единицу времени очаговая область вряд ли может рассматриваться как афтершоковая активизация. Обнаружено изменение в её режиме за несколько лет до Хубсугульского землетрясения 2021 г., но повышенная сейсмическая активность наблюдается и по сей день. Тувинские землетрясения 2011 и 2012 гг. представляют из себя дуплет, когда второе землетрясение через два месяца на том же блокоразделяющем разломе продолжает процесс разрядки напряжённого состояния. Афтершоковые процессы этих землетрясений формируют единую очаговую область с длительным периодом существования. В целом крупные землетрясения уникальны по особенностям процессов, но имеют общие черты для всей зоны сочленения Байкальской рифтовой зоны и Алтае-Саянской горной области. Влияние крупных землетрясений в этой переходной области на её сейсмичность в целом совершенно иное, чем влияние Чуйского землетрясения 2003 г. на сейсмичность Алтая.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Meltzer A., Stachnik J.C., Demberel S., et al.* The Central Mongolia seismic experiment: Multiple applications of temporary broadband seismic arrays // Seismological Research Letters. – 2019. – V. 90, N 3. – P. 1364–1376. – DOI: 10.1785/0220180360

2. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В. и др.* Хубсугульское землетрясение 11.01.2021 г. с *Мw*=6.7, *ML*=6.9 и афтершоки начального периода // Физика Земли. – 2022. – № 1. – С. 67–82. – DOI: 10.31857/S0002333722010021. – EDN: PADCYH

3. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В. и др.* Хубсугульское землетрясение 12.01.2021 г., *ML*=6.9 в структуре сейсмичности Тувино-Монгольского блока // Физика Земли. – 2023. – № 5. – С. 79–95. – DOI: 10.31857/S0002333723050034. – EDN: VZHSYQ

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СЕЙСМИЧНОСТИ АЛТАЯ

¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ^{1,2}А.В. Фатеев, к.ф.-м.н., ¹Е.В. Шевкунова, ¹Е.А. Гладышев, ³И.С. Новиков, д.г.-м.н., ¹П.О. Полянский, к.г.-м.н., ¹В.В. Арапов, ¹М.В. Фролов, ¹А.Ю. Рыбушкин ¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск ³ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

Чуйское землетрясение 2003 г. оказало заметное влияние на сейсмичность всего Алтая. В докладе представлены данные об изменении сейсмического режима Алтая с 2003 по 2023 год [1]. Показано, что в первые полгода после крупного землетрясения 2003 г. землетрясения происходили в эпицентральной зоне, а иные структуры Алтая асейсмичны [2]. До 2009 г. отмечается стабильность сейсмичности объёмной структуры активизированных разломов и сейсмически активизированных горизонтальных слоёв. После 2009 г. формировались изменения как в ближней зоне, охватывающей смежные с эпицентром геологические структуры (удаления 60-80 км от эпицентра главного события), такие как Айгулакский, Курайский, Южно-Чуйский и Северо-Чуйский хребты, так и в дальней зоне на удалениях 250–300 км от эпицентра и в разных направлениях от него. После Айгулакского землетрясения 2019 г. сформировалась сейсмическая активизация, обеспечившая смещение центра сейсмичности Алтая в одноименный хребет. Развитие сейсмической активности Айгулакской очаговой области во времени – длительный и сложный процесс, начавшийся как рой землетрясений малых энергий. Реально интенсивный процесс стартовал с момента землетрясения в 2012 г. с ML=6.1 с постепенным уменьшением числа землетрясений, а в 2019 г. произошло Айгулакское землетрясение с *ML*=5.5 с последующим сильным афтершоковым процессом. В дальнейшем сейсмический процесс был изменчив во времени и динамичен в пределах очаговой зоны. Для многих сейсмически активизированных структур Алтая после Чуйского землетрясения 2003 г. нет данных о крупных землетрясениях в историческом периоде как по сейсмологическим, так и по палеогеологическим данным [3]. Объяснение развития сейсмичности вокруг очага Чуйского землетрясения в пространстве и с задержками по времени на годы может быть дано на основе влияния крупного землетрясения на среду с пластичностью. Возможным вариантом является изменение в очаговых зонах энергетического порога, при котором начинается разрушение среды.

Работа выполнена 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. 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

2. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В.* Устойчивые структуры афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 1. – С. 87–101. – DOI: 10.15372/GiG2020176. – EDN: FYBZVV

3. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. и др.* Эволюция сейсмичности Алтая после Чуйского землетрясения 2003 г. // Вулканология и сейсмология. – 2023. – № 6. – С. 26–40. – DOI: 10.31857/S0203030623700347. – EDN: XJIRKL

СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ «ГАЛИЧЬЯ ГОРА» В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА МЕСТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

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

Липецко-Елецкий регион на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) изобилует большим количеством промышленных карьеров, в которых полезные ископаемые добываются с использованием буровзрывных работ.

Сейсмическая станция «Галичья гора» (LPSR) находится практически в центре этого региона. Минимальное расстояние до ближайшего карьера составляет около 6 км, а самый дальний находится на расстоянии около 75 км. Все карьеры находятся на различных эпицентральных расстояниях и азимутах от сейсмической станции. Мощность взрывчатых веществ, методика подрыва и регулярность проведения работ в каждом карьере различна. За время работы сейсмической станции LPSR накоплен достаточно большой объём волновых форм записей промышленных взрывов в каждом карьере, получены типичные «портреты» [1]. Отдельные промышленные взрывы из этой зоны регистрируются также станциями ФИЦ ЕГС РАН, расположенными в Воронежской области, и станцией «Михнево» ИДГ РАН.

Записи волновых форм событий из Липецко-Елецкой зоны, полученные на станциях в Воронежской области, не всегда однозначно интерпретируются как «промышленный взрыв». Чёткие и характерные признаки отсутствуют, в то же время при одновременной интерпретации записей, полученных на станции LPSR, сомнений интерпретация не вызывает.

19.01.2023 г. в $08^{h}56^{m}$ произошло сейсмическое событие, координаты которого близки к координатам известного карьера. Это событие было зарегистрировано сетью станций, работающих на ВКМ. Несмотря на совпадение координат и времени в очаге, нами оно было интерпретировано и отнесено к разряду «землетрясение». Возможно, оно относится к разряду «наведённой или триггерной» сейсмичности, что в условиях постоянного проведения горных работ в этом регионе и накопления энергии вполне возможно.

Вместе с тем, территория ВКМ не является сейсмически пассивной. Магнитуда местных землетрясений находится в пределах ≤3.5.

Сейсмическая станция LPSR находится практически в идеальных условиях для мониторинга сейсмических событий различной природы, происходящих как на территории ВКМ в целом, так и в Липецко-Елецком регионе в частности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Надёжка Л.И., Пивоваров С.П., Сафронич И.Н., Ежова И.Т., Семенов А.Е. Сейсмическая станция «Галичья гора» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Третьей Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 100–104. – EDN: SWDTKR

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

¹М.А. Ефременко, к.г.-м.н., ^{1,2}А.Е. Семенов, ²В.В. Мохова ¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск ²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

На территории Воронежского кристаллического массива развита горнодобывающая промышленность. В регионе функционирует более 20 карьеров, в которых полезные ископаемые добываются открытым способом как в кристаллических породах, так и в осадочном чехле. Наиболее крупные карьеры расположены на территории КМА, в этих карьерах добывается железная руда. Суммарное количество взрывчатого вещества при производстве взрывов в этих карьерах достигает 2000 *m*, наибольшее количество сейсмических событий имеет энергетический класс $K_P \sim 8$, карьерные взрывы с $K_P \sim 7$ и $K_P \sim 9-10$ составляют не более 10%. Активность взрывных работ в различных карьерах региона была рассмотрена в [1].

В настоящей работе исследуется структура волновых полей взрывов разной мощности в разных карьерах с помощью спектрального и поляризационного анализа. Сейсмические записи взрывов состоят из высокочастотных продольных и поперечных волн, и поверхностных волн Лява и Релея. Спектр поверхностных волн для карьерных взрывов в Лебединском и Стойленском карьерах имеет два максимума в диапазоне частот 0.5-0.9 и 1.0-2.0 Г μ . Для Железногорского и Павловского карьеров поверхностные волны имеют схожий частотный состав, в амплитудно-частотном спектре имеется один максимум в диапазоне частот 0.4-0.8 Г μ .

Высокочастотная часть волнового поля представляет собой сложное сочетание продольных и поперечных волн, отражённых и преломлённых от разных границ в земной коре. Траектории движения частиц среды в высокочастотном диапазоне в большинстве случаев представляют собой сложные пространственные кривые.

В результате исследований найдены характерные особенности волновой картины карьерных взрывов, регистрируемых сейсмическими станциями ВКМ, которые можно использовать для распознавания природы источников и улучшения качества региональных сейсмических бюллетеней.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Надёжка Л.И., Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Ежова И.Т., Золототрубова Э.И., Мохова В.В.* Промышленные взрывы на территории Воронежского кристаллического массива и их временная динамика // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2023. – № 3. – С. 109–123. – DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2023/3/109-123. – EDN: ZAYLWZ

ГЛАВНЫЙ УДАР – ЭПОХА ОМОРИ – БИФУРКАЦИЯ ОЧАГА – ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ

¹А.Д. Завьялов, д.ф.-м.н., ¹А.В. Гульельми, д.ф.-м.н., ^{1,2}О.Д. Зотов, к.ф.-м.н., ²Б.И. Клайн, к.ф.-м.н. ¹ИФЗ РАН, г. Москва ²ГО «Борок» ИФЗ РАН, пос. Борок, Ярославская обл.

Известно, что главный удар землетрясения запускает афтершоковый процесс, который эволюционирует в пространстве и во времени, понижая уровень накопленных напряжений в очаговой области произошедшего землетрясения. Временная эволюция афтершоков описывается известным законом Омори, который был открыт им в 1894 г. [1]. Закон гласит, что число повторных толчков гиперболически убывает с течением времени, прошедшим от основного толчка:

$$u(t) = k/(c+t)$$
, здесь $k > 0, c > 0, t \ge 0.$ (1)

Много лет считалось, что закон Омори является чисто статистическим. Оказалось, что это далеко не так. Сделаем два предположения. Первое: допустим, что закон Омори в форме (1) является точным. Второе предположение состоит в том, что (1) есть решение некоторого дифференциального уравнения, описывающего эволюцию активности афтершоков. Из этих двух предположений следует, что уравнение эволюции имеет вид:

$$dn/dt + \sigma n^2 = 0. \tag{2}$$

Здесь n(t) – частота афтершоков, σ – коэффициент деактивации очага землетрясения, «остывающего» после главного удара. Общее решение уравнения (2) имеет форму:

$$n(t) = n_0 [1 + n_0 \int_0^t \sigma(t') dt']^{-1}.$$
(3)

При σ =*const* (3) с точностью до обозначений совпадает с классической формой закона эволюции афтершоков (1). Поэтому можно считать (1) фундаментальным законом. Однако, в (3) σ не является константой, а является функцией времени. Дифференциальная форма закона Омори (2) и его общее решение (3) дают нам возможность поставить и решить обратную задачу физики афтершоков. Она состоит в том, чтобы вычислить коэффициент деактивации очага по данным наблюдения частоты афтершоков. Сделаем замену переменной $n \rightarrow g=1/n$. Тогда (2) можно переписать в виде $dg/dt=\sigma$. Формально мы решили обратную задачу, но на практике решение оказывается неустойчивым из-за сильной флуктуации исходной функции n(t). Регуляризация в данном случае состоит в замене $g \rightarrow \langle g \rangle$, где угловые скобки означают операцию сглаживания. В результате решение приобретает вид:

$$\sigma = d\langle g \rangle / dt. \tag{4}$$

При анализе афтершоковых последовательностей оказалось, что коэффициент деактивации $\sigma(t)$ испытывает сложные вариации. На первом этапе эволюции σ =*const*. Этот интервал времени был назван нами «эпохой Омори». В эпоху Омори выполняется классический закон Омори (1).

Что же происходит в очаге после окончания эпохи Омори? Как ведёт себя коэффициент деактивации по её окончании? Оказалось, по окончании эпохи Омори состояние очага кардинально изменяется. Это говорит о том, что окончание эпохи Омори сопровождается бифуркацией очага землетрясения. Окончание эпохи Омори свидетельствует о переходе очага (очаговой области) землетрясения как динамической системы из одного состояния в качественно иное состояние. Переход быстрый в том смысле, что переходный период намного короче, чем продолжительность эпохи Омори.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ИФЗ РАН № 075-00693-22-00.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Omori F.* On the aftershocks of earthquake // Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo. – 1894. – V. 7. – P. 111–200.
СКЕЙЛИНГ ОЧАГОВЫХ СПЕКТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

¹А.С. Зверева, ²А.А. Скоркина, к.ф.-м.н. ¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск ²ИТПЗ РАН, г. Москва

Спектральный состав наблюдаемых сейсмических сигналов систематически меняется в зависимости от типа события, магнитуды и гипоцентрального расстояния. Зависимость параметров очагового спектра землетрясений от сейсмического момента называется скейлингом. Изучение скейлинга очаговых спектров землетрясений используется при исследовании физики очага землетрясения, а также важно для решения инженерносейсмологических задач [1–3].

В настоящем исследовании проанализированы спектральные параметры очагов 111 землетрясений Северного Кавказа с 2016 по 2021 г. магнитудного диапазона *Mw*=3.1–5.0 с *h*=2–83 *км*, зарегистрированных сетью сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН.

Спектральный анализ проведён на основании модели сейсмического источника по Брюну [4]. Рассчитаны средние очаговые спектры для магнитудных диапазонов 3.0– 3.5, 3.5–4.0, 4.0–4.5, 4.5–5.0, и >5.0. Наблюдаемая угловая частота f_c близка случаю, соответствующему «гипотезе подобия» ($f_c M_0^{-1/3}$). Регрессионный анализ простой линейной ортогональной регрессии показывает, что для f_c наклон составляет $\beta = (-0.21) \pm 0.2$.

Для 20% землетрясений магнитудного диапазона 3.0–5.0 отмечается сложная форма очагового спектра, укладывающаяся в модель с двумя угловыми частотами, что также отмечалось ранее в работах Т.Г. Раутиан [5].

Также выявлено, что для землетрясений Северного Кавказа умеренного магнитудного диапазона Mw=3.0-5.0 наблюдается зависимость параметра сброшенных напряжений $\Delta \sigma$ от моментной магнитуды.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Aki K*. Scaling law of seismic spectrum // Journal of Geophysical Research. – 1967. – V. 72, N 4. – P. 1217–1231. – DOI: 10.1029/JZ072i004p01217

2. *Гусев А.А., Гусева Е.М.* Скейлинговые свойства характерных частот очаговых спектров землетрясений Камчатки // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 458, № 1. – С. 88–91. – DOI: 10.7868/S0869565214250185. – EDN: SJDPTP

3. *Гусев А.А., Гусева Е.М.* Характер масштабирования очаговых спектров для землетрясений Камчатки в диапазоне магнитуд 3.5–6.5 // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 472, № 5. – С. 580–583. – DOI: 10.7868/S0869565217050164. – EDN: YIVWQD

4. *Brune J.N.* Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // Journal of Geophysical Research. – 1970. – V. 75, N 26. – P. 4997–5009. – DOI: 10.1029/JB075i026p04997

5. Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С, Земцова А.Г., Проскурин А.П., Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.Н., Синельникова Л.Г., Филина А.Г., Шенгелия И.С. Экспериментальные исследования сейсмической коды. – М.: Наука, 1981. – 143 с. – EDN: TQPOBT

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФССН И ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

¹П.С. Киреенко, ²А.М. Милехина ¹ГЦ ГМ, г. Москва ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (ФССН) создана на основании Постановления Правительства РФ от 11 мая 1993 г. № 444 «О федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений» в целях координации деятельности органов государственного управления Российской Федерации по обеспечению защиты населения, объектов и территорий от воздействия землетрясений и является подсистемой Российской системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях [1]. Основной целью создания и развития системы сейсмологических наблюдений в Российской Федерации является проведение мониторинга состояния земных недр для последовательного развития методов предсказания времени и места возникновения чрезвычайных ситуаций, максимальное снижение рисков гибели людей и уничтожения материальных ценностей, повышение защищённости критически важных объектов от угрозы разрушения вследствие землетрясений [2].

Следует отметить, что на сегодняшний день система сейсмологического мониторинга в РФ значительно уступает аналогичным системам в развитых странах Европы и Азии, что существенно затрудняет развитие методов прогнозирования сейсмической и вулканической опасности, а также опасности цунами. Основными недостатками действующей сейсмологической системы являются неопределённый порядок финансирования и устаревшая нормативно-правовая база.

Для решения задач развития ФССН необходимо существенно актуализировать нормативно-правовую базу, разработанную для эффективной работы этой сети. Для решения задачи прогнозирования необходимо разработать Стратегию деятельности в области сейсмологии и смежных с ней областях, аналогичную уже действующей Стратегии деятельности в области гидрометеорологии [3]. Эта Стратегия должна определять основные направления развития деятельности в области сейсмологии и смежных с ней областях (строительство, техногенная сейсмичность, сейсморайонирование России, сейсмобезопасность, сейсмические воздействия на здания, сооружения и технические процессы), мониторинга окружающей среды, воздействия на гражданские и промышленные объекты, а также в области предоставления информации о состоянии окружающей среды и об опасных сейсмических явлениях.

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. *Старовойт О.Е.* Сейсмическая сеть Российской академии наук // Информационно-аналитический бюллетень федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. – 1994. – Т. 1, № 1. – С. 25–33.

3. Нормативные правовые акты Российской Федерации в области гидрометеорологии и смежных с ней областях. Информационный бюллетень / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» / Под ред. А.В. Фролова. – Обнинск, 2011.

ОЩУТИМЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2024 Г. В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

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

24.01.2024 г. в $11^{h}19^{m}$ и 10.04.2024 г. в $22^{h}31^{m}$ произошли землетрясения с макросейсмическим эффектом в западной части Северного Кавказа в Краснодарском крае с магнитудой *Mw*=4.1 и 4.0 соответственно. Исследование макросейсмических данных в густонаселённом Краснодарском крае имеет большое значение для решения задач, связанных с предотвращением катастрофических последствий сильных землетрясений и обеспечением безопасности населения. Территория Краснодарского края в геологическом и тектоническом отношении расположена в переходной зоне между Альпийским мегантиклинорием Большого Кавказа и Скифской плитой (молодой платформой), включающей Индоло-Кубанский прогиб. По историческим сведениям, данный регион характеризуется землетрясениями, сопровождаемыми макросейсмическим эффектом [1].

Инструментальные параметры землетрясения определены по данным сети региональных сейсмических станций Северного Кавказа ФИЦ ЕГС РАН. Рассчитаны очаговые спектры по записям региональных сейсмических станций и определены следующие параметры: сейсмический момент M_0 , величина сброшенного напряжения $\Delta \sigma$ и радиус разрыва *R*. Получено решение механизмов очагов по знакам первого вступления *P*-волн. Установлено, что в очаге землетрясения 24.01.2024 г. произошёл взброс с компонентом правостороннего сдвига, а движение в очаге землетрясения 10.04.2024 г. возникло под действием превалирования напряжений сжатия, тип движения – взброс с некоторыми компонентами правостороннего сдвига. В тектоническом плане землетрясение 24.01.2024 г. произошло в южной части Западно-Кубанского прогиба в пределах Ахтырской зоны ВОЗ с M_{max}=6.8 [2], а землетрясение 10.04.2024 г. произошло на границе между Курджипской зоной с *M*_{max}=5.5 и локальным платформенным прогибом. Проведён макросейсмический сбор данных этих двух землетрясений с помощью социальной сети «ВКонтакте», построены карты распределения пунктов-баллов. Максимальная интенсивность в эпицентре землетрясения 24.01.2024 г. составила 4-5 баллов, а землетрясения 10.04.2024 г. – 5 баллов по шкале MSK-64.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Сущев С.П., Малаева Н.С.* Оценка сейсмического риска на территории Краснодарского края // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2023. – Т. 50, № 4. – С. 36–57. – DOI: 10.21455/VIS2023.4-3. – EDN: IUTQNT

2. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с. – EDN: ZPKBCV

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ЗАБИВАНИИ ШПУНТОВ ВИБРОПОГРУЖАТЕЛЕМ DELTA VM760R

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

Измерения уровня сейсмического воздействия на трёхэтажный жилой дом при забивании шпунтов вибропогружателем Delta VM760R, установленным на экскаваторе "Komatsy", выполнены на строительной площадке около ЖК «Солнечный берег» на ул. Култукской в Иркутске. Для регистрации скорости колебаний был использован комплект аппаратуры фирмы Nanometrics: регистратор Centaur и трёхкомпонентный сейсмометр Trillium Compact, 20 *c*, частотный диапазон – от 0.05 до 100 *Гц*, максимальный сигнал – 26 *мм/c*. В ходе выполнения работ был зарегистрирован сейсмический эффект от забивания шпунтов размером 650×250 *мм* и длиной 8.5–9.0 *м*.

Согласно проекту, минимальное расстояние от погружаемых шпунтов до жилого дома – менее 25 *м*, что указывало на необходимость проведения инструментальных наблюдений для определения значений допустимых безопасных расстояний. Согласно СП 24.13330.2021 [1], допустимые безопасные расстояния следует устанавливать, исходя из условия, чтобы скорость вертикальных колебаний фундамента на расстоянии от погружаемой сваи не превышала предельно допустимого значения для данного сооружения, которое должно устанавливаться в зависимости от его конструктивных особенностей и категории технического состояния. Конструкция исследованного жилого дома относится к категории «рамный каркас из монолитного железобетона», грунты в основании – средней плотности. Допустимые скорости колебаний для данных условий составляют 1.5 *см/с* [1, таблица 7.19].

Максимальная скорость колебаний пола первого этажа дома, которая была зарегистрирована на расстоянии 6–10 *м* от вибропогружателя, составила 0.33 *см/с*, что является допустимым согласно нормативным документам. Основные частоты спектра воздействия приходились в основном на диапазон 22–27 $\Gamma \mu$. В то же время по шкале сейсмической интенсивности ШСИ-17 [2] эти воздействия оцениваются в 3.7 балла (по значению пиковой скорости). Отметим, что по ШСИ-17 оценка интенсивности воздействий происходит при средней величине колебаний продолжительностью, равной 5 *с*, а в данном случае имеются длительные серии воздействий – от 3 до 40 минут. Эти воздействия вызвали появления тонких трещин в штукатурке, что классифицируется как повреждения первой степени.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *СП 24.13330.2021*. Свайные фундаменты. – Введ. 2022-01-15. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 82 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/728474148 2. *ГОСТ Р 57546–2017*. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200146265

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ СОБЫТИЙ НА СТАНЦИЯХ AMDE1 И KOLBA

^{1,2}Я.В. Конечная, к.т.н., ²Г.Н. Антоновская, д.т.н., ²Е.Р. Морозова ¹ΦИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск ²ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

В районе Северного морского пути ведётся активная добыча полезных ископаемых [1, 2]. Результаты этой промышленной деятельности регулярно фиксируются сейсмическими станциями ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, расположенными на побережье Карского моря. Станции «Амдерма1» (AMDE1) и «Колба» (KOLBA) были установлены в 2019 и 2021 гг. соответственно. Станция AMDE1 открыта в результате переноса станции AMDE, которая функционировала с 2010 по 2019 год. Актуальность выявления техногенных событий на этапе рутинной обработки обусловлена необходимостью очистки сейсмологических каталогов.

Ранее в [2] были определены критерии распознавания техногенных событий для сейсмической станции KOLBA. Эффективными признаны анализ CBAH-диаграмм, суточное распределение событий и анализ соотношения *S/P*. В отдельных случаях, для работ в районе порта «Бухта Север», вид волновой формы и локация также свидетельствуют о техногенной природе событий.

В случае станции AMDE1 разработанный набор критериев имеет противоположный результат – анализ CBAH-диаграмм и суточное распределение не вносят ясности в природу регистрируемых событий. Однако, несмотря на это, в пользу техногенной природы событий можно отнести такие критерии, как узкий магнитудный диапазон, значение *S*/*P*<3.0, а также рассчитанное эпицентральное расстояние, которое определяется в районе воркутинских карьеров. Волновые формы событий идентичны между собой. Кроме того, в [3] дополнительно исследованы некоторые события из района Воркутинского горнопромышленного узла, которые классифицируются авторами как горно-тектонические удары.

Исследование выполнено за счёт Российского научного фонда (проект № 24-27-20037, https://rscf.ru/project/24-27-20037/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузнецов Д.С., Иевлев А.А.* Горнопромышленные узлы Тимано-Североуральского региона и перспективы их развития // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2012. – Вып. 1 (9). – С. 107–115. – EDN: OWUUCV

2. *Конечная Я.В., Антоновская Г.Н.* Анализ локальной сейсмичности западной части полуострова Таймыр по данным сейсмической станции «Колба» // Russian Journal of Earth Sciences. – 2023. – Т. 23, № 5. – ES5008. – DOI: 10.2205/2023ES000858. – EDN: JLBHNY

3. *Носкова Н.Н., Верхоланцев Ф.Г., Асминг В.Э., Ваганова Н.В., Попов И.В.* Сейсмические события в Воркутинском углепромышленном районе в 2023 году // Вестник геонаук. – 2024. – № 1 (349). – С. 34–42. – DOI: 10.19110/geov.2024.1.4. – EDN: GLOIMG

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ КАВКАЗА: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

¹Ю.Ф. Копничев, д.ф.-м.н., ²И.Н. Соколова, д.ф.-м.н. ¹ИФЗ РАН, г. Москва ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Рассмотрены некоторые характеристики сейсмичности в районе Западного Кавказа, начиная с 1961 года. Установлено, что перед двумя сильными землетрясениями – Спитакским 07.12.1988 г. (Mw=6.8) и Рачинским 29.05.1991 г. (Mw=7.0) – сформировались кольцевые структуры сейсмичности на глубинах 0–33 км [1]. Кольца сейсмичности характеризуются пороговыми значениями магнитуд (Mп) и длинами больших осей (L). Ранее были получены корреляционные зависимости величин Mп и lgL от магнитуды главных событий Mw для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбрососдвига [2], преобладающими в районе Западного Кавказа. На основе этих зависимостей сделаны оценки магнитуд сильных событий, которые могли готовиться в областях кольцевых структур – Mw=6.5±0.3 и Mw=7.1±0.4 соответственно для зон Спитакского и Рачинского землетрясений. Эти величины достаточно близки к реальным магнитудам указанных событий.

На западной окраине Большого Кавказа в период с 01.01.1973 г. по 01.06.2024 г. образовалась неглубокая кольцевая структура, ориентированная в направлении на северо-северо-запад ($M\pi 1=3.8$, $L\sim 170 \ \kappa m$). Кольцо сейсмичности проходит по континентальной области (в Краснодарском крае). Северная часть кольца находится в основном в Индоло-Кубанском краевом прогибе, а южная – граничит с Туапсинским прогибом. Текущее время формирования кольцевой структуры $T\pi$ – около 46 лет. Наибольшая магнитуда в области кольца сейсмичности соответствует событию 2004 г. (M=4.7). Кроме неглубоких землетрясений, в исследуемом районе были зарегистрированы шесть глубоких событий (M=3.2-4.7, $h=35-52 \ \kappa m$), пять из которых формируют субширотную полосу, пересекающую центральную часть мелкого кольца.

В районе, где выделена крупная кольцевая структура, на западной окраине Большого Кавказа неизвестны достаточно сильные землетрясения по инструментальным и историческим данным. По характеристикам этой структуры была оценена магнитуда возможного сильного землетрясения $Mw=7.0\pm0.5$. Предполагается, что формирование кольцевых структур есть следствие процессов самоорганизации геологических систем, связанных с миграцией глубинных флюидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания ИФЗ РАН по теме FMWU-2022-0003, государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-00682-24).

ЛИТЕРАТУРА

2. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся в континентальных районах перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов // Геофизические исследования. – 2013. – Т. 14, № 1. – С. 5–15. – EDN: RAGHLD

^{1.} *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Анализ кольцевых структур сейсмичности в районе Северного Кавказа: возможная подготовка сильных землетрясений // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – Вып. 2. – С. 114–119.

НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ S-ВОЛН В ЛИТОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

¹Ю.Ф. Копничев, д.ф.-м.н., ²И.Н. Соколова, д.ф.-м.н. ¹ИФЗ РАН, г. Москва ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Проведено картирование поля поглощения короткопериодных S-волн в литосфере Кавказа, в районе, ограниченном координатами φ =39–44°N и λ =45.5–50.0°E. Анализировались записи коровых землетрясений, зарегистрированных станцией Кисловодск (KIV) за период времени 1990–2018 гг. в диапазоне эпицентральных расстояний ~200–750 км [1]. Использован метод, основанный на анализе отношения максимальных амплитуд волн Sn и Pn. По отношениям амплитуд волн Sn и Pn можно судить о поглощении S-волн в верхах мантии в области эпицентра данного события (использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Ги). Получены корреляционные зависимости параметра Sn/Pn от расстояния. Поглощение S-волн оценивалось по отклонениям этих параметров от корреляционных зависимостей.

Установлено, что для трасс, одновременно пересекающих очаговые зоны Спитакского (Mw=6.8) и Рачинского (Mw=7.0) землетрясений, имеет место повышенное и промежуточное поглощение. В то же время очаговой зоне Дагестанского землетрясения 1970 г. (Mw=6.8) соответствует в основном пониженное поглощение. Эти данные согласуются со сделанным ранее выводом о том, что после сильных сейсмических событий глубинные флюиды в течение нескольких десятков лет поднимаются в земную кору из верхов мантии, что приводит к уменьшению поглощения волн *Sn*. Выделена зона высокого поглощения на западе района, где по инструментальным и историческим данным не зарегистрировано сейсмических событий с $M \ge 6.0$. Предполагается, что в этом районе могут идти процессы подготовки сильного землетрясения.

Для более детального изучения геодинамических процессов в этой области с целью среднесрочного прогноза возможного сильного сейсмического события проведено изучение структуры поля поглощения короткопериодных *S*-волн в литосфере Западного Кавказа. Использованы сейсмограммы землетрясений, зарегистрированные стационарными сейсмическими станциями GOYR, MRNR, SOC и GUZR, на расстояниях до 50 *км*. Были построены огибающие коды *S*-волн и разрезы поля поглощения. Следует отметить, что в западной области Северного Кавказа, где наблюдаются аномалии структуры поля поглощения сформировалась кольцевая структура сейсмичности на глубинах 0–33 *км* [2]. Ранее было показано, что такие кольцевые структуры связаны с миграцией глубинных флюидов и свидетельствуют о подготовке сильного землетрясения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания ИФЗ РАН по теме FMWU-2022-0003, государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-00682-24).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Неоднородности поля поглощения S-волн в литосфере Кавказа и их связь с сейсмичностью // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18, № 3. – С. 67–76. – DOI: 10.21455/GPB2019.3-4. – EDN: YQSLFG

2. *Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.* Анализ кольцевых структур сейсмичности в районе Северного Кавказа: возможная подготовка сильных землетрясений // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – Вып. 2. – С. 114–119.

СЕЙСМОГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В СИСТЕМЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

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

Представлены результаты изученности сейсмогидрогеодинамических эффектов в изменениях давления подземной воды (СГГЭ) в связи с сильными землетрясениями по данным наблюдений в скважинах Восточной Камчатки с использованием созданных авторами методики диагностики и типизации СГГЭ на предсейсмической, ко- и постсейсмических стадиях землетрясений для отдельных наблюдательных скважин. Верификация результатов исследования СГГЭ в скважинах, для которых получены ряды наблюдений продолжительностью более 25 лет, проводится по данным регистрации эффектов сейсмичности в изменениях давления подземных вод в период землетрясения 3 апреля 2023 г., Mw=6.6 (далее 3T), произошедшем на эпицентральном расстоянии 67–77 км, и анализа прогнозов землетрясений, сделанных в режиме, близком к реальному времени, за 22-летний период сотрудничества с Камчатским филиалом Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений (КФ РЭС).

В связи с 3Т, в скважине E-1 проявлялись гидрогеодинамический предвестник продолжительностью 91 сутки до 3Т, выявленный в реальном времени с представлением заключения в КФ РЭС, а также постсейсмический рост давления в течение 45 суток. Заблаговременность предупреждения о возможном сильном землетрясении составила 76 суток. Успешный прогноз 3T с использованием гидрогеодинамического предвестника был подтверждён КФ РЭС и является убедительным свидетельством верификации ранее созданной типизации сейсмогидрогеодинамических эффектов для скважины E-1.

В докладе представлены и обсуждаются диаграммы распределения различных типов СГГЭ для двух скважин в зависимости от величин магнитуды и эпицентрального расстояния землетрясений, плотности сейсмической энергии в районе скважин и линейных размеров очагов землетрясений в сопоставлении с данными по СГГЭ при землетрясении 3 апреля 2023 года. Такие диаграммы представления совокупности различных типов СГГЭ позволяют отображать в компактном виде связь между зарегистрированными эффектами в изменениях давления воды в отдельных скважинах с энергетическими, пространственными и другими характеристиками сейсмических событий, вызывающими такие эффекты, а также оценивать удалённость скважины от эпицентра землетрясения по соотношению эпицентрального расстояния и размера очага землетрясения [1].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kopylova G., Boldina S.* Seismo-Hydrogeodynamic effects in groundwater pressure changes: A Case study of the YuZ-5 well on the Kamchatka Peninsula // Water. – 2023. – V. 15. – A. 2174. – DOI: 10.3390/w15122174

ОПЫТ АДАПТАЦИИ ПРОГРАММ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ШУМОВОЙ ТОМОГРАФИИ, ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ ПО КАВКАЗУ

¹Т.Ю. Королева, к.ф.-м.н., ²А.К. Зароченцев ¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск ²СПбГУ, г. Санкт-Петербург

Одним из широко используемых методов для определения скоростного строения верхних слоёв Земли является шумовая томография, включающая в себя построение кросскорреляционных функций шума на парах станций [1], определение по ним дисперсионных кривых поверхностных волн, а также поверхностно-волновую томографию [2], позволяющую оценить двухмерное распределение скоростей в зависимости от периода, а затем, решая одномерную обратную задачу, определить вертикальные скоростные разрезы *S*-волн.

Территория, включающая Большой Кавказ, Малый Кавказ и восточную часть Анатолийского плато, формирует тектонически активную границу между Евразийской и Аравийской плитами. С 2017 г. в рамках проекта [3] в этом регионе была развёрнута широкополосная сеть сейсмических станций, что дало значительно больше данных для получения более достоверной скоростной модели.

И для двумерной поверхностно-волновой томографии, и для построения скоростных разрезов *S*-волн по дисперсионным кривым поверхностных волн нередко используются частные программы, написанные в конце прошлого – начале этого века под MS Windows. Но, учитывая как возросшее количество данных, так и необходимость получения более точной скоростной модели, что в т.ч. требует неоднократного варьирования начального приближения, использовать персональные рабочие станции становится неэффективно. В то же время появляется доступ к высокопроизводительным кластерам, чаще всего под OC Linux. В этой работе авторы делятся своим опытом по переносу всего комплекса программ поверхностно-волновой томографии (включая решение обратной задачи) под операционную систему Linux и созданию распределённого кода, позволяюцего использовать многоядерный кластер для одновременной обработки многих вариаций начального приближения при решении обратной задачи.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Shapiro N.M., Campillo M., Stehly L., Ritzwoller M.H. High-resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise // Science. – 2005. – V. 307. – P. 1615–1618. – DOI: 10.1126/science.1108339

Yanovskaya T.B., Ditmar P.G., Smoothness criteria in surface wave tomography // Geophysical Journal International. – 1990. – V. 102, N 1. – P. 63–72. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.1990.tb00530.x
Sandvol E., Nabelek J., Mackey K. The Caucasus seismic network: The uplift and structure of the Greater and Lesser Caucasus (Data set). – International Federation of Digital Seismograph Networks, 2017. – DOI: 10.7914/SN/XA_2017

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ В КУМО-МАНЫЧСКОМ ПРОГИБЕ НА ЮГЕ КАЛМЫКИИ

Л.Н. Королецки, И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н., В.В. Косая ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Предметом исследования является редкое проявление сейсмичности на севере региона Северный Кавказ, зарегистрированное в течение последнего десятилетия (2013–2024 гг.) сейсмической сетью ФИЦ ЕГС РАН. Район исследования интересен тем, что в тектоническом плане это – зона сочленения Скифской плиты и Восточно-Европейской платформы. Территория эта слабо сейсмичная, однако и здесь известно ощутимое до 6 баллов Сальское землетрясение 22 мая 2001 г. с M=4.7 [1], эпицентр которого находился также в зоне Манычских прогибов западнее исследуемой области.

Сейсмическая сеть в этом районе бедна, сейсмические станции расположены южнее и западнее и, несмотря на то, что теоретическая оценка по уровню их шумов позволяет сделать вывод, что здесь могут обнаруживаться события с K_P =7.0, реально зарегистрировано шесть землетрясений с K_P =8.3–9.7 за период 2013–2024 гг.

Землетрясение с *К*_P=9.7, произошедшее 24 января 2024 г. в 13^h38^m, стало самым сильным из них и заставило заново обратиться к цифровым записям ранее произошедших в этом районе землетрясений. Вступление *P*-волны для всех землетрясений на всех станциях слабое. Выделить его не всегда помогает полосовая фильтрация. Группа *S*-волн практически на всех записях хорошо выражена.

В результате анализа волновых форм данных землетрясений была выявлена схожесть записей, что подтверждает результат локации с небольшой разницей положения эпицентров. Результаты расчётов во всех случаях показывают на небольшую глубину гипоцентров в пределах 7–10 км, и этому не противоречит вид записи исследуемых землетрясений.

Спектральный анализ волновой картины также позволил сравнить энергетический уровень землетрясений между собой.

Была проведена уточнённая обработка данных этих землетрясений с использованием модели земной коры по профилю ГСЗ «Краснодар-Элиста» и привлечением записей станций локальной сети вблизи Ростовской АЭС.

Установка сейсмических станций в данном районе позволит более уверенно регистрировать и точнее лоцировать события этой зоны. Одновременно это позволит повысить достоверность определения параметров землетрясений в платформенной зоне, о сейсмичности которой в очередной раз нам напомнили рассмотренные в данной работе события.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатиков А.В., Габсатарова И.П., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Сысолин А.И., Погребченко В.А. Уточнение глубинного строения и кинематики тектонических движений в области Сальского землетрясения 2001 г. на основе новых геофизических данных // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2019. – Т. 46, № 2. – С. 5–15. – DOI: 10.21455/VIS2019.2-1. – EDN: TOFQVO

СТРОЕНИЕ ОЧАГОВОЙ ОБЛАСТИ ХАСТАХСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ) ПО ДАННЫМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

^{1,2}А.С. Куляндина, ³А.И. Филиппова, к.ф.-м.н., ^{4,5}Е.Ю. Соколова, к.ф.-м.н. ¹СВФУ, г. Якутск ²ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск ³ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк ⁴ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва ⁵ИФЗ РАН, г. Москва

Хастахское землетрясение произошло 20 мая 2011 г. в пределах одноименной рифтовой впадины [1] (Лено-Анабарский прогиб, Северо-Западная Якутия). Интерес к этому событию обусловлен, с одной стороны, тем, что оно относится к немногочисленным землетрясениям, зарегистрированным в пределах слабосейсмичной Сибирской платформы. С другой стороны, для эпицентральной области этого события имеются карты гравитационного и магнитного полей, составленные по результатам съёмок в масштабе 1:200000 [2, 3], на основе которых возможно достаточно детально восстановить особенности глубинного строения в его очаговой области. Кроме того, глубина очага рассматриваемого землетрясения и его тензор сейсмического момента в приближении двойного диполя были определены в [4] по амплитудным спектрам поверхностных волн. Так, его моментная магнитуда *Мw* составляет 4.7, а очаг сформировался на глубине 3 *км* под влиянием преобладающего растяжения северо-восточной ориентации.

Моделирование плотностных и магнитных характеристик земной коры в районе очага Хастахского землетрясения было выполнено с использованием программного комплекса ГИС INTEGRO [5]. В результате было определено, что его эпицентр приурочен к зоне с высоким градиентом гравитационного поля, отвечающей краю слабой магнитной аномалии, а очаг исследуемого события тяготеет к верхней границе области повышенных плотностей в верхней части земной коры. Интересно, что схожие особенности в расположении очага были отмечены нами ранее для Богучанского землетрясения 17 января 2014 г. (Mw=4.3), произошедшего на юге Сибирской платформы [6].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Khudoley A.K., Frolov S.V., Akhmanov G.G., et al.* Anabar-Lena composite tectono-sedimentary element, Northern East Siberia // Geological Society London Memoirs. – 2022. – V. 57, N 1. – DOI: 10.1144/M57-2021-29

2. Создание цифровой карты гравитационного поля территории Республики Саха (Якутия) масштабов 1:500000, 1:1000000, 1:1500000, 1:2500000, 1:5000000 по состоянию изученности на 01.01.2005 г., 2002–2004 гг. : отчёт / Росгеолфонд ; исполн. О.Г. Бузикова. – М., 2004. – Инв. № в РГФ 20545.

3. Составление карты цифрового магнитного поля Республики Саха (Якутия) масштабов 1:500000, 1:1500000, 1:2500000, 1:5000000, при условии изучения на 01.01.2005, 2002–2004 гг. : отчёт / Росгеолфонд ; исполн. Л.К. Федосеев. – М., 2004. – Инв. № в РГФ 21263.

4. *Filippova A.I., Melnikova V.I.* Crustal stresses in the East Arctic region from new data on earthquake focal mechanisms // Tectonics. – 2023. – V. 42, N 9. – e2022TC007338. – DOI: 10.1029/2022TC007338 5. *Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Деев К.В., Большаков Е.М.* ГИС INTEGRO. Состояние и перспективы развития в условиях импортозамещения // Геология нефти и газа. – 2021. – № 3. – С. 31–40. – DOI: 3.10.31087/0016-7894-2021-3-31-40. – EDN: CANDIN

6. *Seredkina A., Melnikova V., Gileva N., Radziminovich Y.* The *Mw* 4.3 January 17, 2014, earthquake: very rare seismic event on the Siberian platform // Journal of Seismology. – 2015. – V. 19, N 3. – P. 685–694. – DOI: 10.1007/s10950-015-9487-y

РЕГИСТРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.А. Курсевич, А.А. Левченко, В.А. Беляева, Л.В. Гирина, А.А. Кодымов, А.А. Сивохо ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Работа посвящена параллельной регистрации сейсмических событий различными сейсмометрами, установленными в геофизической обсерватории «Нарочь». В экспериментах использовались следующие датчики: LE-3Dlite MK II [1], CM-3KB, CK-1П, СПВ-3K. В качестве регистрирующей аппаратуры выбран регистратор Дельта-03М [2] производства фирмы «ГЕОТЕХ», Россия.

Опорный комплект оборудования для сравнения характеристик и визуализации данных состоял из короткопериодного сейсмометра LE-3Dlite серии MK II с регистратором Дельта-03M, аналогичные комплекты оборудования используются в локальных сейсмологических сетях в Беларуси.

Поверка станции была разделена на три этапа: определение истинной ориентации горизонтальных каналов по сторонам света, определение постоянных сейсмометров (собственный период и затухание, полюса и нули частотной характеристики) и определение коэффициентов преобразования сейсмометрических каналов [3, 4].

Сначала проводились технические работы для датчиков СМ-3КВ, СК-1П, СПВ-3К: проверка целостности и работы механической части, замер сопротивления катушек, расчёт требуемого сопротивления для подключения к регистратору и др.

Затем проводилось параллельное подключение исследуемого и эталонного датчиков на продолжительный интервал времени с целью анализа сейсмических шумов, регистрации событий, построения амплитудных спектров и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Техническая документация фирмы "Lennartz electronic GmbH*". LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. – Tübingen, Germany, 2012. – 30 с.

2. *Регистратор сейсмических сигналов «Дельта-03»*. Руководство по эксплуатации. ИТЛЯ.416611.004 РЭ. – М., 2007. – 20 с.

3. *Аранович З.И., Кирнос Д.П., Фремд В.М.* Аппаратура и методика сейсмических наблюдений в СССР. – М.: Наука, 1974. – 245 с.

4. *Карпинский В.В., Мехрюшев Д.Ю.* Установка и калибровка сейсмической станции с использованием эталонной станции // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2015. – С. 181–184. – EDN: UIOPNT

ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПО МАЛОАМПЛИТУДНЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ СИГНАЛАМ

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

Для дистанционного контроля разрушительных процессов при эксплуатации крупных промышленных объектов разработана малозатратная методика надёжного их обнаружения по малоамплитудным сейсмическим сигналам. Исходным материалом служат данные многолетнего мониторинга в реальном времени высокочувствительными приборами сейсмических станций в окрестности нескольких километров от объекта исследования. В основе методики лежит спектрально-временной анализ зарегистрированного сейсмического шума. Разработано специальное программное обеспечение SpectrumSeism для визуализации спектрограмм [1]. Программа снабжена инструментами масштабирования и навигации по спектрограмме, позволяющими выделять и анализировать ограниченные во времени и частоте сигналы из множества других сигналов, содержащихся в сейсмическом шуме, а также оперативно выявлять сигналы-помехи. В техногенной составляющей сейсмического шума регистрируются малоамплитудные сигналы, как отклики от механических колебаний (вибрации работающего оборудования, собственных колебаний зданий и технических сооружений) различных объектов. Такие колебания характеризуются определёнными частотами и длительностью во времени, что даёт возможность отделять содержащиеся в сейсмическом шуме сигналы одних источников от других и повышать отношение сигнал/помеха. Регулярное (например, ежесуточное) определение характеристик малоамплитудных сигналов по материалам многолетнего мониторинга сейсмического шума даёт информацию не только об изменении технического состояния объекта за длительный период времени. Так, по частотам собственных колебаний сооружений выявляются новые эффекты, связанные с: изменением уровня воды в водохранилищах ГЭС (неоднозначные зависимости при наполнении и сработке резервуара) [2]; температурными колебаниями, воздействием на объекты землетрясений, приводящем предположительно к разрядке напряжений; многолетние изменения, вызванные старением или консолидацией сооружений. Учёт этих факторов позволяет определять, какие изменения частот опасны и могут привести к разрушению объекта, а какие - нет. На основе ретроспективного анализа данных определяются аномальные изменения частот и амплитуд малоамплитудных сигналов, сигнализирующие о начавшихся разрушительных процессах на объекте. Это повышает достоверность контроля устойчивости сооружений и работающего оборудования в реальном времени, остро необходимую для предотвращения разрушений и анализа причин нештатных ситуаций.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., Лисейкин А.В., Севостьянов Д.Б., Брыксин А.А. SpectrumSeism / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021666241, 11.10.2021. Заявка № 2021665611 от 11.10.2021. – EDN: JKKTEX

2. Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Кречетов Д.В. Определение частот собственных колебаний сооружений по малоамплитудным сейсмическим сигналам (на примере плотины Саяно-Шушенской ГЭС по данным мониторинга 2001–2021 гг.) // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 2. – С. 32–50. – DOI: 10.35540/2686-7907.2023.2.03. – EDN: AAVYDU

О ЦУНАМИГЕННОЙ ОБСТАНОВКЕ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

¹Е.В. Лисунов, ²С.В. Горожанцев, к.г.-м.н. ¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Владивосток ²СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

Регион Японского моря находится в сейсмически активной зоне, расположенной в районе схождения четырёх литосферных плит: Евразийской (Амурской), Охотоморской, Тихоокеанской и Филиппинской [1].

Большинство очагов землетрясений центральной и западной частей моря являются глубокофокусными, глубины которых составляют $300-500 \ \kappa m$. Такие сейсмические события, несмотря на их высокую интенсивность, обычно не представляют угрозы возникновения цунами. Согласно регламенту РИОЦ г. Владивостока, под цунамиопасными землетрясениями понимаются подводные сейсмические события с магнитудой $M \ge 7$ и глубиной очага до 120 км. Основная часть сильных землетрясений с глубинами гипоцентров до 100 км, как правило, происходит в восточной части моря, ближе к японским островам.

Согласно имеющимся данным, с XX в. и по настоящее время вдоль российского побережья Японского моря было зарегистрировано пять случаев возникновения цунами, произошедших в 1907, 1940, 1983, 1993 и 2024 гг. Отдельные сведения о цунами 1907 и 1940 гг. носят фрагментарный характер. Самым разрушительным стало цунами, случившееся 26 мая 1983 года. Землетрясение с магнитудой 7.7 произошло на глубине 20 км. На отдельных участках побережья Приморского края были зафиксированы волны высотой от 2 до 6 м [2].

Землетрясение, произошедшее 13 июля 1993 г., стало причиной образования волны на побережье Приморского края, высота которой достигла 3.5 *м*. Магнитуда землетрясения составила 7.7, глубина – 16 *км*.

Последнее из зарегистрированных цунами произошло 1 января 2024 года. Магнитуда землетрясения составила 7.4, глубина очага – 10 км. По данным Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, уровень волны во Владивостоке не превышал 10 см. Максимальная высота волны наблюдалась на побережье в населённых пунктах Преображение, Рудная Пристань, Сосуново и достигала 30 см.

Данная работа направлена на исследование всех известных цунамигенных землетрясений и проявлений цунами на побережье Приморского края. Кроме того, в ней представлены сведения, иллюстрирующие общую сейсмическую обстановку Японского моря до и после цунамигенных землетрясений.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Родников А.Г., Забаринская Л.П., Пийп В.Б. и др.* Глубинное строение континентальных окраин региона Японского моря // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2010. – № 1 (15). – С. 33–45. – EDN: MSVNIR

2. Полякова А.М. Цунами в Приморье 26 мая 1983 года и его последствия. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 1988. – 40 с.

ПРИНЦИП РАСПОЗНАВАНИЯ РОЁВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

И.Н. Литовченко, В.С. Лютикова ТОО «ННЦСНиИ» МЧС РК, г. Алма-Ата, Казахстан

Под землетрясениями понимают природные явления, сопровождающиеся колебаниями земной поверхности, вызванными освобождением энергии в земной коре [1, 2]. В свою очередь, рои землетрясений представляют собой последовательности всплесков сейсмической активности, которые происходят в одной и той же области в течение определённого временного интервала. Распознавание роёв землетрясений играет важную роль в прогнозировании возможных последующих событий и минимизации рисков для населения и объектов инфраструктуры. Рои землетрясений могут возникать из-за различных причин, включая тектоническую активность, вулканическую деятельность, гидроразрыв пород при бурении скважин и другие факторы. Тектонические напряжения в земной коре могут приводить к сосредоточенной сейсмической активности в определённых районах. Современные методы распознавания роёв землетрясений включают использование сейсмических сетей, систем мониторинга и анализа данных. Одним из основных методов является кластерный анализ, позволяющий выявлять временные и пространственные закономерности сейсмической активности. Принцип распознавания роёв землетрясений основан на методе графической кластеризации [3, 4]. Распознавание роёв землетрясений позволяет улучшить понимание закономерностей сейсмической активности и способствует разработке стратегий предупреждения и реагирования на землетрясения. Это помогает сократить ущерб от землетрясений и обеспечить безопасность людей. Поэтому актуальность своевременного распознавания роёв землетрясений в сейсмичности регионов исследования неоспорима. Рои землетрясений являются важным объектом изучения для сейсмологов и специалистов по геодинамике. Распознавание и анализ таких явлений помогают повысить эффективность мер по предотвращению чрезвычайных ситуаций, связанных с землетрясениями. Непрерывное развитие методов распознавания роёв землетрясений является одним из ключевых аспектов в области сейсмологии и геодинамики.

Работа выполнена в лаборатории физики геодинамических и сейсмических процессов ТОО «ННЦСНиИ» МЧС РК.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Литовченко И.Н., Амиров Н.Б.* Глубинное представление и зависимости термодинамических параметров в очагах землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Тезисы докладов VIII Международного симпозиума. – Бишкек: НС РАН, 2021. – С. 34–37. – EDN: UDMQPJ

2. *Курскеев А.К., Колумбетова К.К., Литовченко И.Н., Амиров Н.Б., Лютикова В.С.* О физической природе магнитуды землетрясений // Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений для территории Республики Казахстан. Материалы Международной научной конференции. – Алматы: МЧС РК, 2022. – С. 142–148.

3. *Лютикова В.С., Литовченко И.Н.* Роевая активность в сейсмичности Северного Тянь-Шаня и прилегающих территориях // Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений для территории Республики Казахстан. Материалы Международной научной конференции. – Алматы: МЧС РК, 2022. – С. 281–286.

4. *Литовченко И.Н., Амиров Н.Б., Лютикова В.С.* Распознавание образов роёв землетрясений и их численные характеристики // Инновационные технологии в геопространственной цифровой инженерии. Труды Международной научно-практической конференции, посвящённой 115-летию чл.-корр. АН КазССР А.Ж. Машанова и 100-летию Академика АН КазССР Ж.С. Ержанова. – Алматы: КазНИТУ, 2022. – С. 549–555.

СОВРЕМЕННЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО УЧЁТУ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЪЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

И.Ю. Лободенко, к.г.-м.н., Л.М. Фихиева, к.г.-м.н. ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва

В федеральных нормах и правилах (ФНП) в области использования атомной энергии в 2017 г. впервые отдельным пунктом сформулировано требование непревышения значений проектных основ вследствие взаимодействия двух природных процессов и явлений: осадки и деформации грунтов оснований зданий и сооружений (ЗиС) ОИАЭ и скорости вертикальных движений земной коры (поверхности) (СВДЗК) на площадке размещения ОИАЭ [1]. Согласно требованиям ФНП, контроль непревышения значений проектных основ вследствие взаимодействия двух упомянутых выше природных процессов и явлений осуществляется геотехническим мониторингом грунтов основания, включая наблюдения за кренами и осадками ЗиС [1] и геодинамическим мониторингом СВДЗК на площадке размещения ОИАЭ [2]. В ФБУ «НТЦ ЯРБ» разработана методика оценки СВДЗК на площадке атомной станции (АС) по данным наблюдений в режиме мониторинга изменений высотных отметок геодезических реперов, установленных на площадке АС [3]. Наблюдаемое в настоящее время глобальное потепление климата способно вызвать ряд опасных процессов и явлений в верхних геосферах Земли, проявляющихся в том числе в виде СВДЗК, тектонических нарушений, тектонического крипа, таким образом, в настоящее время актуальным является требование выполнения комплексной оценки результатов всех видов мониторинга в районе и на площадке ОИАЭ с учётом данных глобальных и единых государственных систем мониторинга РФ, в т.ч. сейсмологического и геодинамического мониторинга СДЗК [4]. Работа Семипалатинского полигона приводит к снижению уровня сейсмичности территории [5]. Этот техногенный процесс назван А.В. Николаевым «сейсмическим массажем Земли» и может также вызываться активными боевыми действиями. Тем самым, при оценке результатов сейсмологического и геодинамического мониторинга района размещения ОИАЭ предстоит оценить влияние указанного выше техногенного воздействия на уровень сейсмичности территории. В настоящее время воздействие техногенного «сейсмического массажа Земли» на значения горизонтальных и вертикальных компонент СДЗК не исследовано как на уровне мониторинга в районе и на площадке ОИАЭ, так и на уровне федеральной сети сейсмологических наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *НП-064-17*. Учёт внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. – Введ. 07.01.2018. – М.: Ростехнадзор, 2017. – 70 с.

2. **Фихиева Л.М., Малофеев А.А., Меньщикова В.В., Филонов Д.Н.** Учёт современных вертикальных движений земной коры на площадке ОИАЭ при обосновании не превышения проектных пределов крена зданий и сооружений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 95. – EDN: BBLUXE

3. Лободенко И.Ю., Фихиева Л.М., Кавун О.Ю., Гусельцев А.С., Назина П.А. Методика оценки СВДЗК на площадке размещения ОИАЭ // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 53. – EDN: KPUULE

4. *Виноградов Ю.А.* Состояние системы сейсмологических наблюдений в России и перспективы её развития // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 3. – EDN: FFWRRX

5. *Николаев А.В.* О возможности искусственной разрядки тектонических напряжений с помощью сейсмических и электрических воздействий // Двойные технологии. – 1999. – № 2 (7). – С. 6–10.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

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

Процессы заполнения крупных водохранилищ с сезонными колебаниями уровня воды представляют собой грандиозный эксперимент искусственного периодического воздействия на земную кору, способствуя повышению сейсмической активности в районе водохранилищ и помогая лучшему пониманию процессов подготовки землетрясений. При заполнении Чиркейского водохранилища, которое началось в июле 1974 г. и завершилось в 1976 г., после достижения уровня воды в водохранилище 120 *м* друг за другом произошли Верхнекаранайский рой землетрясений 9–11 энергетического класса в октябре 1974 г. и Салатаусское землетрясение 13 энергетического класса 23 декабря 1974 г., вслед за которыми последовало большое количество слабых толчков в районе водохранилища [1].

Особенностью расположения Чиркейского водохранилища является его близкое (около 15 км) соседство с эпицентральной зоной сильнейшего Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г., где повышенная сейсмичность сохраняется уже более 50 лет, хотя по закону Омори афтершоковый процесс должен убывать гиперболически с течением времени. Это явление можно объяснить взаимодействием возбуждённой сейсмичности в зоне водохранилища с афтершоковым процессом Дагестанского землетрясения 1970 года. Вопрос влияния далёких землетрясений на сейсмичность рассматривается в ряде публикаций, в т.ч. [2, 3]. В данном случае наблюдается взаимодействие возбуждённой сейсмичности чиркейского водохранилища и афтершокового процесса сильного землетрясения. Носит ли это взаимодействие односторонний характер, или в сейсмичности водохранилища присутствует составляющая влияния афтершокового процесса Дагестанского землетрясения, предстоит выяснить. Исследования сейсмичности и геофизических полей в районах водохранилищ должны способствовать понимаю механизма землетрясений в целом.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марчук А.Н., Левкович Р.А., Магомедов Х.Д., Асманов О.А., Адилов З.А., Таймазов Д.Г.* Влияние Чиркейского водохранилища на сейсмический режим Дагестана // Гидротехническое строительство. – 2019. – № 9. – С. 30–36. – EDN: KJSBBY

2. *Соболев Г.А., Закржевская Н.А.* К вопросу о влиянии удалённых землетрясений на сейсмичность // Физика Земли. – 2013. – № 4. – С. 29–42. – DOI: 10.7868/S0002333713030162. – EDN: QBRFLJ

3. *Адилов З.А.* Индуцированная сейсмичность на территории Дагестана и прилегающих районов в результате Турецкого землетрясения 6 февраля 2023 г. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 4. – EDN: BSXBIC

НЕКОРРЕКТНАЯ РАБОТА СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ВИЛЮЙСКИХ ГЭС 1 И 2 ПО ЗАПИСЯМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ЧЕРНЫШЕВСКИЙ»

^{1,2}А.А. Макаров, ^{3,1}В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ²С.В. Шибаев, ¹ИГАБМ СО РАН, г. Якутск ²ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск ³СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

В данной работе рассматривается возможность дистанционного сейсмического мониторинга Вилюйского каскада гидроэлектростанций (КВГЭС-1, 2) при помощи методики и программного обеспечения, разработанных в ФИЦ ЕГС РАН [1]. Объект исследования является основным источником электроэнергии, обеспечивающим Западную Якутию. Он представляет собой сложную конструкцию, состоящую из каменно-набросной плотины и двух приплотинных ГЭС, расположенных в условиях криолитозоны. В свою очередь, плотины такого типа в данных условиях работают в сложном термонапряжённо-гидродинамическом поле, сохраняя квазистабильное состояние, требующее пристального внимания как к самой плотине, так и к работающему оборудованию [2].

4 марта 2023 г. в результате некорректной работы систем регулирования генерирующего оборудования КВГЭС-1, 2 возникли синхронные качания частоты и мощности в изолированном районе [3]. На примере этой аварии была рассмотрена возможность фиксации изменения монохроматических частот гидроагрегатов. Фактический материал был обеспечен сейсмической станцией «Чернышевский», которая входит в систему инструментальных наблюдений $Я\Phi \Phi UIL ЕГС РАН$ [4]. Она расположена на расстоянии ~1.5 км от плотины, ~1.3 км от КВГЭС-1 и ~1.5 км от КВГЭС-2 на правобережье реки Вилюй. В результате обработки записей были выделены оборотные и их кратные, а также лопастные частоты до, во время и после аварии. Построенные графики осреднённых спектров и спектрограммы наглядно отражают отклонения от номинальных значений частот работы оборудования на гидроэлектростанциях. Анализ графиков изменения амплитуд позволяет выделить время возникновения отклонений от номинальных оборотов работы гидроагрегатов.

Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН (FUFG-2024-0005), а также при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., Лисейкин А.В., Альжанов Р.Ш., Громыко П.В.* Способ организации непрерывного сейсмического мониторинга инженерных сооружений и устройство для его осуществления / Патент на изобретение РФ № 2546056. Бюл. № 10, 10.04.2015 г.

2. *Чжан Р.В.* Современное представление о работе грунтовых плотин в криолитозоне / Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова // Наука и техника в Якутии. – 2023. – № 1 (44). – С. 8– 16. – DOI: 10.24412/1728-516X-2023-1-8-16. – EDN: CZPKXP

3. *Системный оператор Единой энергетической системы* [сайт]. – URL: https://www.so-ups.ru/odu-east/news/odu-east-news-view/news/22307 (дата обращения 15.04.2024).

4. Шибаев С.В., Geissler W., Козьмин Б.М., Туктаров Р.М., Макаров А.А. Сейсмичность Якутии в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 200–209. – DOI: 10.35540/1818-6254.2023.26.16. – EDN: NVOKJN

РАЗВИТИЕ ПОДСИСТЕМЫ ДОСТУПА К ДАННЫМ ЕИССД КАМЧАТСКОГО ФИЛИАЛА ФИЦ ЕГС РАН В 2024 Г.

Е.А. Матвеенко, к.ф.-м.н., Е.А. Будилова КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Единая информационная система сейсмологических данных (ЕИССД) Камчатского филиала (КФ) ФИЦ ЕГС РАН – это совокупность подсистем, обеспечивающих выполнение определённых задач по различным направлениям сейсмического мониторинга [1]. Подсистема доступа к данным представляет собой сайт, который состоит из поисковых страниц, интерактивной карты и сервиса FSDN. Через Интернет доступны каталоги основных параметров, механизмов и макросейсмических проявлений землетрясений, бюллетени результатов обработки сейсмических событий, списки инструментов, картографическая информация.

В 2024 г. для зарегистрированных пользователей открыта поисковая страница «Архив бумажных сейсмограмм». Страница предоставляет доступ к более чем 20 тыс. копий бумажных сейсмограмм, записанных в 1958, 1959 и 1964 гг. Архив создан в 2019 г. и постоянно пополняется.

Разработан сервис расчёта и визуализации параметров каталога землетрясений. Доступ к сервису реализован через поисковую страницу «Сводные характеристики каталога». Начаты работы по усовершенствованию интерфейса поиска и предоставления данных.

Реализована автоматическая блокировка доступа к подсистеме доступа к данным по IP, изменена система логирования запросов к поисковым страницам и реализованы тесты для проверки работы разработанных обновлений интерфейса.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., Чемарев А.С., Матвеенко 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

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРКТИЧЕСКИХ И ПРИАРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Я.А. Михайлова, Е.Р. Морозова ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

Развитие активного судоходства по Северному морскому пути (СМП) сдерживается наличием некоторых препятствий, которыми являются сложные природно-климатические условия и слабая изученность рассматриваемой территории в связи с её труднодоступностью.

В работе проанализирована сейсмическая ситуация вдоль трассы СМП в шести зонах западного сектора Российской Арктики: Белое море и его прибрежная территория, Баренцево море и юго-запад от архипелага Новая Земля, архипелаг Новая Земля, Карское море и, частично, его континентальная прибрежная часть, район континентального подножия у поднятия Ушакова и грабен Святой Анны, архипелаг Северная Земля и северная часть полуострова Таймыр. Выявлены проявления современных геодинамических процессов по результатам сейсмологического мониторинга природно-техногенных опасностей в совокупности с пространственным распределением значений теплового потока вдоль Северного морского пути.

Для формирования сводного уточнённого каталога землетрясений использовались сейсмические данные за период с начала XX в. по 2023 г. из каталога Международного сейсмологического центра (International Seismological Center, ISC) [1], который был дополнен данными каталога [2] и локального каталога ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск.

В процессе обобщённой обработки землетрясений из Арктического региона принимают фиксированное значение глубины гипоцентра (как правило, 10 км). Это связано с недостаточным количеством близко расположенных к очагу станций. Лишь в отдельных случаях удаётся определить глубину очага [3].

Созданный сводный уточнённый каталог землетрясений за весь инструментальный период может служить основой для последующих исследований, связанных с оценкой потенциальных природно-техногенных рисков, обеспечения безопасной эксплуатации инфраструктуры СМП, разработок промышленных систем и объектов при освоении крупных месторождений в западном секторе Российской Арктики, построения геодинамических моделей и исследования напряжённо-деформированного состояния земной коры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ISC Bulletin: bulletin search* [Site]. – URL: http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/. – DOI: 10.31905/D808B830

2. *Morozov A., Vaganova N.* Earthquake catalog of the continent-ocean transition zone in the Eurasian Arctic for the period from October 2011 to November 2020 // ISC Seismological Dataset Repository [Site]. – 2024. – URL: https://www.isc.ac.uk/dataset_repository/view_submission.php?dsid=60. – DOI: 10.31905/C6BQDUO5

3. *Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Перетокин С.А., Алёшин И.М.* Сейсмичность западного сектора Российской Арктики // Физика Земли. – 2023. – № 2. – С. 115–148. – DOI: 10.31857/S0002333723020096. – EDN: LIGGSU

ОЦЕНКА МОМЕНТНЫХ МАГНИТУД ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ

^{1,2}А.П. Молокова, ²А.А. Скоркина, к.ф.-м.н. ¹МГУ, г. Москва ²ИТПЗ РАН, г. Москва

Ключевская группа вулканов (КГВ) – один из самых крупных и активных вулканических кластеров в зоне субдукции в мире, который состоит из 13 близко расположенных стратовулканов и занимает территорию диаметром ~70 км. Вулканическая активность региона связана с тектонической обстановкой КГВ, которая определяется процессами в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг [1].

В рамках эксперимента KISS (Klychevskoy Investigation – Seismic Structure of an Extraordinary Volcanic System), главной целью которого являлось изучение глубинной структуры коры и верхней мантии в районе Ключевской группы вулканов, 83 автономные сейсмические станции были установлены сроком на один год в 2015–2016 гг. [2], из которых для 77 сейсмостанций удалось собрать данные наблюдений. Установка временных станций в рамках проекта KISS позволила применить новые методы для классификации наблюдавшейся сейсмичности.

В работе выполнена независимая оценка сейсмических моментов с помощью спектрального метода по уровню низкочастотной площадки амплитудного спектра смещений объёмных волн [3]. Для этого: 1) подбирались записи одного землетрясения, полученные с разных станций, и рассчитывалось их быстрое преобразование Фурье; 2) рассчитанный спектр приводился к условиям однородного упругого полупространства – в настоящем исследовании с помощью поправки за геометрическое расхождение и за добротность; 3) оценивался уровень низкочастотной площадки спектра на нулевой частоте, вычислялся сейсмический момент для индивидуальной записи.

Для оценки сейсмического момента было выбрано 146 вулканических землетрясений, которые уже участвовали в обработке методом спектральных отношений [4]. Всего получены 92 индивидуальные оценки сейсмических моментов (36 оценок для длиннопериодных (ДП) событий и 56 оценок для высокочастотных (ВЧ) событий) в диапазоне $1.65 \cdot 10^{11} - 2.47 \cdot 10^{12} H \cdot M$ для ДП и $1.05 \cdot 10^{11} - 1.32 \cdot 10^{13} H \cdot M$ для ВЧ (диапазон магнитуд Mw=1-3), по которым проведено сопоставление полученных моментных магнитуд с ло-кальной магнитудой. Выявлен разный тип связи магнитуд для ВЧ и ДП событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Shapiro N.M., Droznin D.V., Droznina S.Ya., Senyukov S.L., Gusev A.A., Gordeev E.I.* Deep and shallow long-period volcanic seismicity linked by fluid-pressure transfer // Nature Geoscience. – 2017. – V. 10, N 6. – P. 442–445. – DOI: 10.1038/ngeo2952

2. Шапиро Н.М., Гордеев Е.И., Абкадыров И.Ф., Кулаков И.Ю., Яковлев А.В. Широкомасштабный полевой сейсмологический эксперимент для изучения Ключевской группы вулканов // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2017. – № 1 (191). – С. 75–78. – EDN: ZIFWBX

3. *Keilis-Borok V.I.* Investigation of the Mechanism of Earthquakes // Soviet Research in Geophysics (English translation). – 1960. – V. 4, N 29. – 201 p.

4. *Молокова А.П., Скоркина А.А., Смирнов В.Б.* Спектральные характеристики землетрясений Ключевской группы вулканов // Физика Земли. – 2024. – № 5. (В печати).

О РЕАКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МОЛДОВЫ НА ВРАНЧСКИЕ СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

К.Е. Морару, д.г.-м.н. ИГС МолдГУ, г. Кишинёв, Молдова

Территория Республики Молдова сильно подвержена влиянию землетрясений очага Вранча, который расположен в пределах Румынии [1]. Недавние землетрясения с M > 6.0 (1940, 1977 и 1986 гг.) вызвали целый ряд изменений в подземной гидросфере до и после сейсмических событий, которые выражались изменениями уровней подземных вод и дебита водопунктов, а также вариациями газового и химического состава подземных водно-газовых систем [2].

Настоящее обобщение касается нестабильностей (гидрогеохимической и газовой) подземных водно-газовых систем Прутской разрывной структуры первого порядка, а также реакции некоторых её параметров на подготовку и свершение Вранчского землетрясения 31.08.1986 года. Это сейсмическое событие (M=6.9–7.0, h=140 км) можно считать афтершоком землетрясения с эпицентром в этой же зоне 04.03.1977 (M=7.2).

На гидрогеохимической станции Готешты (Республика Молдова), расположенной примерно на 150 км от очаговой зоны землетрясения, систематически проводились измерения уровня воды в скважине, химии подземных вод (Са, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, pH, величины общей минерализации), газового состава (CH₄, C₂H₆, C₃H₈, CO₂, He, H₂, N₂, изотопа a^{13} С, а также температуры подземных вод (в °*C*). Такие измерения проводились до, во время и после землетрясения.

Обобщённый анализ мониторинга подземных водно-газовых систем позволяет выявить, что системы проявляют прямую реакцию на воздействия землетрясения. Это выражается в снижении уровней подземных вод в скважинах за 3.0-3.5 *мес.* до сейсмического события. За сутки до сейсмического события снижение уровня составило около 30 *см.* После сейсмического удара уровень воды в скважинах резко поднялся на 20 *см.* Отношение Ca/Mg до землетрясения монотонно росло, в момент события – резко снизилось и после события резко начало восстанавливаться. Такое же поведение наблюдалось с содержанием гелия, водорода и других газов. Следует отметить, что газовый состав является наиболее динамичной составляющей подземной водно-газовой системы. После землетрясения содержание ведущих компонентов (CH4 и N₂) стремится к стабильности, а содержание малых газов (He, H, и гомологи метана) подвержено сильным вариациям. Это относится и к a^{13} С, содержание которого варьировало в пределах (-51.5) – (-69.2) $^0/_{00}$.

Таким образом, подготовка и осуществление Вранчского глубокофокусного землетрясения 31.08.1986 г. сопровождались выраженной комплексной реакцией подземных вод, мерой которой явилась нестабильность уровней воды в скважинах и химизма природных газов и водоносных горизонтов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке программы научных исследований Республики Молдова, МолдГУ, код 010902.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Морару К.Е.* Тектонические особенности и макросейсмическое поле юго-западной части Русской платформы // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 48–57. – DOI: 10.35540/2686-7907.2020.2.04. – EDN: YJZSIJ

2. Войтов Г.В., Бобров В.А., Кривомазова Н.Г., Никулина И.В., Друмя А.В., Морару К.Е., Бобринский В.М., Сковитин А.И. О нестабильности подземных водно-газовых систем Прутской разрывной структуры и их реакции на Вранчское землетрясение 31.08.1986 // Доклады Академии наук СССР. – 1990. – Т. 310, № 1. – С. 60–63.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ЗА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ

^{1,2}А.Н. Морозов, к.т.н., ²Н.В. Ваганова, к.г-м.н. ¹ИФЗ РАН, г. Москва ²ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

Особенности развития инструментальных наблюдений, необходимость оценки потенциальных природно-техногенных рисков и обеспечения безопасной эксплуатации промышленных систем и объектов при освоении крупных месторождений в западном секторе Российской Арктики и инфраструктуры Северного морского пути накладывают необходимость в проведении исследований по обобщению и уточнению основных параметров (гипоцентр, магнитуда) землетрясений, зарегистрированных за весь период инструментальных наблюдений. Такие исследования необходимо проводить с применением новых и современных алгоритмов локации, апробированных региональных скоростных моделей, уточнённой шкалы локальной магнитуды, и всех доступных в настоящее время исходных данных и бюллетеней функционировавших в регионе сейсмических станций.

В ходе многолетних исследований по сведению, уточнению и унификации основных параметров сейсмических событий, зарегистрированных в пределах западного сектора Российской Арктики, создан единый уточнённый и унифицированный каталог землетрясений за период с 1908 по 2020 год [1]. Созданный каталог включает также данные о современной сейсмичности районов, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга. Результаты исследований позволили уточнить пространственное распределение землетрясений в регионе и сопоставить инструментальные данные с параметрами линеаментно-доменно-фокальных (ЛДФ) моделей карт общего сейсмического районирования ОСР-97 и ОСР-2016. В пределах западного сектора Российской Арктики наибольшая сейсмичность проявляется в пределах зоны перехода «континентокеан» и о. Белый, архипелагов Новая Земля и Северная Земля. Сам шельф Баренцева и Карского морей характеризуется редкой и рассеянной сейсмичностью. Также в район исследования попадают фрагменты сейсмичности, характерной для полуострова Таймыр и севера Фенноскандии. Конфигурация, значения максимально возможных магнитуд и глубина сейсмогенных слоёв доменов ЛДФ-моделей карт ОСР-97 и ОСР-2016 для западного сектора Российской Арктики не всегда соответствуют инструментальным данным, и требуется их корректировка. Созданный сводный уточнённый каталог землетрясений может служить основой для последующих исследований, связанных с оценкой сейсмической опасности территории, построением геодинамических моделей, исследованием напряжённо-деформированного состояния земной коры

Работа выполнена при финансовой поддержке тем НИР, включённых в государственное задание ИФЗ РАН и ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Перетокин С.А., Алёшин И.М.* Сейсмичность западного сектора Российской Арктики // Физика Земли. – 2023. – № 2. – С. 115–148. – DOI: 10.31857/S0002333723020096. – EDN: LIGGSU

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РУДНИКА ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

А.С. Мурыськин «ГИ УрО РАН», г. Пермь

При распространении в реальных средах сейсмические волны рассеиваются и несут информацию не только об источнике, но и о геологическом разрезе. Затухание сейсмических волн – снижение интенсивности упругих колебаний, обусловленное явлениями поглощения, геометрического расхождения и рассеяния энергии волн при распространении их в геологической среде по мере удаления от источника. Чаще всего для определения добротности используют кода-волны, однако на рудниках сейсмические события очень слабые, а уровень шума высокий. В работе для определения добротности будет использоваться методика Гладвина-Стейси [1]. Сеть мониторинга состоит из четырёх поверхностных станций, использовались волновые формы из каталога за 2018–2021 гг.

Измерения проводились следующим образом: 1) выборка волновых форм сейсмических событий в определённом диапазоне магнитуд. Соблюдение минимальных требований для локации очага – минимум три станции должны зарегистрировать сейсмическое событие; 2) обработка волновых форм, выделение вступлений *P*- и *S*-волн, локация очагов землетрясений, отбраковка записей при большой ошибке локации; 3) замер гипоцентрального расстояния до каждой станции в выборке; 4) замер длительности импульса первых вступлений на волновых формах сейсмического события.

В результате измерений было установлено, что добротность на территории рудника ОАО «Беларуськалий» численно равна 50.7. По отдельным станциям отклонение от полученной оценки не превышает 10%.

Для контролируемой территории была получена математическая модель, описывающая зависимость *PGV* (Peak Ground Velocity – скорость смещения грунта) в конкретной точке пространства от магнитуды события и гипоцентрального расстояния [2]. Для получения данной зависимости использовались данные сейсмического каталога, данные о конфигурации сети, а также дополнительно были выполнены замеры амплитуды скорости смещения грунта для выбранных волновых форм сейсмических событий. Итоговая зависимость описывается следующей формулой:

 $PGV = 1.03 \cdot ML - 1.23 \cdot \lg R - 5.456$,

где PGV – пиковая скорость смещения грунта, M/c, ML – локальная магнитуда сейсмического события, R – гипоцентральное расстояние, κM . Всего в построении модели использован 71 замер, коэффициент достоверности аппроксимации R^2 =0.871.

Полученные результаты устойчивы и могут использоваться для решения ряда задач, в т.ч. для оценки опасности техногенных землетрясений и расчёта регистрационных возможностей сейсмической сети.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания «ГИ УрО РАН» (регистрационный номер НИОКТР: 124020500029-1).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gladwin M., Stacey F.* An elastic degradation of acoustic pulses in rock // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1973. – V. 8, N 4. – P. 332–336. – DOI: 10.1016/0031-9201(74)90041-7

2. *Douglas J.* Ground motion prediction equations 1964–2023. – United Kingdom, Glasgow: University of Strathclyde, 2024. – 700 р. – URL: http://www.gmpe.org.uk/gmpereport2014.pdf (дата обращения 10.05.2024).

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ ВОСТОЧНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ

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

Добыча твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) открытым и подземным способом, как правило, сопровождается буровзрывными работами (БВР). Приближение фронтов горных работ к территориям населённых пунктов по мере отработки месторождения, а также расширение застраиваемых территорий приводят к росту сейсмической активности, что увеличивает актуальность проблемы обеспечения безопасности зданий и сооружений от сейсмических воздействий взрывов. В настоящее время существует ряд публикаций, методик и нормативных документов безопасного ведения БВР [1]. Но, пожалуй, самым надёжным и точным методом оценки сейсмического воздействия являются натурные инструментальные измерения на исследуемой территории в конкретных геологических и горнотехнических условиях, последующий анализ распределения сейсмического воздействия и, как следствие, оптимизация технологии взрывных работ.

В качестве исследуемого объекта взят карьер АО «Киембаевский ГОК «Оренбургские минералы», находящийся на территории Ясненского городского округа Оренбургской области. На исследуемой территории за 2006–2023 гг. зарегистрировано 1051 сейсмическое событие, из которых 993 совпадают со взрывами по регламентному времени, 58 – не совпадают. Для определения сейсмической интенсивности на прилегающей территории г. Ясного была использована эмпирическая модель Шебалина-Блейка с гипоцентральным расстоянием 5 км. По результатам исследования [2], на территории г. Ясного с 2006 по 2023 г. произошло семь землетрясений с интенсивностью 6 баллов по шкале MSK-64 и 154 землетрясения с 5-балльной интенсивностью сотрясений.

На основании проведённых исследований можно сделать вывод, что определение гипоцентрального расстояния от очагов взрывов до границ населённых пунктов, а также до охраняемых производственных зданий и сооружений по ФНП «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» не может учитывать все факторы, влияющие на величину сейсмического воздействия. Конкретное определение сейсмически безопасных расстояний возможно только на основании натурных измерений, позволяющих учесть всю совокупность факторов, влияющих на образование и распространение сейсмических волн.

Для более детального изучения всех происходящих сейсмических явлений и оценки уровня техногенной сейсмической активности на территории, прилегающей к разрабатываемому Киембаевскому руднику, отделом геоэкологии ОФИЦ УрО РАН в 2023 г. была создана опорная сейсмическая станция. Использование этой станции позволяет повысить надёжность определения затухания сейсмических волн в верхней части земной коры. Оценка сейсмического эффекта инструментальным методом позволяет наиболее безопасно производить технологические взрывы без потери качества дробления горных пород и снижения экономической эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Верхоланцев А.В.* Контроль сейсмического воздействия БВР по результатам круглогодичного мониторинга // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. Вып. 15. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2017. – С. 203–205. – EDN: ZUMJRV

^{2.} *Нестеренко М.Ю., Белов В.С.* Оценка сейсмической активности территории восточной части Оренбургской области // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 65. – EDN: MTKWMH

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПРИБАЙКАЛЬЯ И ЗАБАЙКАЛЬЯ (*М*≥5.0) В 2019–2023 ГГ.

А.А. Папкова, Н.А. Гилёва, Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н. БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Прибайкалье и Забайкалье является одним из наиболее сейсмоактивных регионов России. В настоящее время сейсмологический мониторинг этой территории осуществляется региональными сейсмическими сетями Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН (код центра BAGSR) и Бурятского филиала ФИЦ ЕГС РАН (BUGSR) [1].

Название	Дата, дд.мм.гггг	Т ₀ , чч:мм	Координаты		Могнитино	Населённый пункт
землетрясения			φ, °N	λ, °Ε	маі ни і уда	баллы шкалы MSK-64
Ленгерское	28.09.2019	21:28	56.15	119.94	5.2 <i>Mw</i> _{GCMT}	Новая Чара (Δ=121 <i>км</i>) – V
Быстринское	21.09.2020	18:04	51.78	103.41	5.5 Mw _{GCMT}	Быстрая (Δ=5 км) – VI–VII
Кударинское	09.12.2020	21:44	52.38	106.59	5.5 Mw _{GCMT}	Кудара (Δ=18 <i>км</i>) – VI–VII
Хубсугульское	11.01.2021	21:32	51.27	100.38	6.8 Mwgcmt	Монды (Δ=62 <i>км</i>) – VI–VII
Муяканское	31.08.2021	05:24	55.90	113.39	$5.1 Mw_{\rm NEIC}$	Северомуйск (Δ=32 км) – IV–V
Тофаларское	06.09.2021	07:47	53.09	99.08	5.3 Mw _{GCMT}	Бурунгол (Δ=56 <i>км</i>) – IV–V
Лурбунское	22.09.2021	17:01	56.34	117.73	5.2 Mw _{GCMT}	Новая Чара (Δ=61 км) – IV
Голоустненское II	08.06.2022	12:24	52.05	105.67	5.2 Mwgcmt	Большое Голоустное (∆=18 <i>км</i>) –
						V-V1
Голоустненское III	14.10.2022	00:53	52.06	105.66	$5.2 Mw_{GCMT}$	Бабушкин (Δ=41 <i>км</i>) – VI–VII
Акитканское	27.12.2023	05:09	56.99	108.68	5.4 mb_{MOS}	Киренск (<i>Δ</i> =95 <i>км</i>) – IV

За последние пять лет на указанной территории произошло десять значительных событий с $M \ge 5.0$, основные сведения о которых приведены в таблице.

Быстрое получение основных параметров сильных землетрясений и оповещение о них административных служб и управлений МЧС является главной задачей Службы срочных донесений. Среднее время передачи информации для указанных событий составило 18 минут. Для трёх землетрясений (21.09.2020 г., 11.01.2021 г. и 08.06.2022 г.) проводились локальные наблюдения временными станциями. Афтершоковые процессы различной интенсивности были отмечены после всех этих сейсмических событий (таблица) – от двух афтершоков (K_P <8.0) после Акитканского землетрясения до 8200 афтершоков с $K_P \ge 6$ за полгода после Хубсугульского землетрясения. Количество пунктов, для которых при указанных землетрясениях собраны макросейсмические данные, варьируется от шести до 263. Рассматриваемые землетрясения произошли в разных частях Байкальской рифтовой зоны и, соответственно, имеют разную сейсмотектоническую позицию, что подтверждается механизмами их очагов.

Мониторинг сейсмичности и особенно сильных землетрясений направлен на оценку сейсмической опасности исследуемой территории.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

^{1.} *Гилёва Н.А., Хритова М.А.* Состояние и перспективы детальной обработки землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 2. – С. 77– 99. – DOI: 10.35540/2686-7907.2023.2.06. – EDN: SSNWGI

ВАРИАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ ПО ДАННЫМ МГГН

¹Р.А. Пашаян, к.г.-м.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

Район исследования, охватывающий весь регион Армении, представляет собой нагорье, расположенное между средними течениями крупных водных артерий Закавказья – Куры и Аракса. Территория Республики Армения подразделяется главным образом на три крупные складчатые зоны северо-запад-юго-восточного простирания, разграниченные разломами – Анкаван-Сюникским и Лалвар-Муравским [1]. В разломной тектонике Армении в настоящее время активными являются две поперечные зоны – Арарат-Спитакская и Ехегнадзор-Севанская, - по этим зонам происходят подвижки в северо-восточном направлении [2]. В Арарат-Спитакской зоне после Спитакского землетрясения происходит ослабление напряжения внутри тектонических блоков, согласующихся с изменениями геодинамических показателей подземных вод. Наблюдения за уровнем подземных вод служат дополнением к геодезическим методам изучения современных движений земной коры и позволяют регистрировать подвижки крипового типа [3]. Приуроченность минеральных вод к глубинным тектоническим разломам, для которых характерна повышенная геодинамика, отражается на гидрогеохимическом составе минеральных вод аномальными изменениями некоторых химических параметров. Проведённые исследования сейсмических условий региона показали, что очаги землетрясений в основном приурочены к зонам глубинных разломов, которые одновременно являются границами тектонических блоков [4]. Изучение современных движений деформации земной коры региона проводилось по методу мониторинга гидрогеологической наблюдений (МГГН).

С целью исследования особенностей полей современных движений и деформаций земной коры Армении в работе используются многолетние мониторинговые измерения уровня подземных вод и химического состава минеральных вод, оценка напряжённодеформированного состояния земной коры и текущая сейсмичность. Для обработки временных рядов вариаций подземных вод и компонентов химического состава минеральных вод применялись статистические методы и учёт тензочувствительности мест расположения пунктов наблюдений. В статистическую обработку данных входило определение среднего значения концентраций химических компонентов, среднеквадратичное отклонение от фонового значения, дисперсия, корреляционный анализ [5]. Полученные результаты позволили исследовать вариации гидрогеодинамических и флюидо-геохимических полей, характеризующих деформацию земной коры Армении, выделить области с повышенной напряжённостью и современными движениями, сопоставимыми с активными глубинными разломами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Туманян Г.А.* Глубинная структура земной коры на космических изображениях // Исследования Земли из космоса. – 1983. – № 5. – С. 32–39.

2. *Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И.* Активные разломы и сейсмичность // Природа. – 1989. – № 12. – С. 32–39.

3. *Киссин И.Г., Оролбаев* **Э.Э.** О гидрогеологических эффектах современных движений земной коры // Доклады Академии наук СССР. – 1986. – Т. 291, № 3. – С. 566–570.

4. *Карапетян Н.К.* Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1990. – 263 с.

5. *Григорян С.В., Пашаян Р.А., Арутюнян Л.В.* Взаимосвязь гидрогеохимических параметров минеральных вод Центральной части региона Армении с сейсмичностью // Доклады НАН Армении. – 2014. – Т. 114, № 1. – С. 44–50.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ОТКЛИКУ ОТ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

¹М.С. Петрищев, к.т.н., ¹Ю.А. Копытенко, д.ф.-м.н., ¹П.А. Сергушин, к.т.н., ¹В.С. Исмагилов, к.ф.-м.н., ²В.Р. Юсупов, к.г.-м.н. ¹СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург ²ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Известно, что магнитометры реагируют на сейсмические колебания [1]. При этом различают как эффекты, обусловленные вибрациями постаментов с магнитометрами в постоянном магнитном поле Земли, так и относительными колебаниями отдельных частей магнитометров. На этом фоне проявляется и сейсмомагнитный эффект, обусловленный возбуждением сейсмической волны при синхронных вариациях магнитного поля в толще горных пород [2] земной коры. Этот эффект привлекает внимание исследователей в связи с инерционным механизмом его возбуждения, что даёт возможность проводить исследование заполненных флюидом пористых и проницаемых сред.

В работе выполнена оценка сейсмомагнитного эффекта по результатам регистрации вариаций электромагнитного поля на Ташкентском геодинамическом полигоне в интервале частот 0.1–15 Ги и сопоставление их с сейсмическими колебаниями, связанными с землетрясениями различной магнитуды на удалении до 1000 км при движении блоков земной коры [3]. Для анализа использованы данные группы геофизических станций комплекса «Очаг-1» [4] за период 2022–2024 гг. Установлены различия в электромагнитном отклике на сети станций, что может быть использовано для исследования изменчивости состояния среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Старжинский С.С., Никифоров В.М.* Анализ реакции магнитометра на прохождение сейсмической волны // Физика Земли. – 2010. – № 2. – С. 68–78. – EDN: LOIOTN

2. *Гульельми А.В.* Проблемы физики геоэлектромагнитных волн // Физика Земли. – 2006. – № 3. – С. 3–16. – EDN: OPDBAV

3. *Пучков В.Н., Кашубин С.Н., Перес-Эстаун А. и др.* Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE. Т. 2 / Ред. А.Ф. Морозов. – М.: Геокарт, 2006. – 736 с.

4. Петрищев М.С., Копытенко Ю.А., Сергушин П.А., Исмагилов В.С., Хусомиддинов С.С., Юсупов В.Р. Анализ электромагнитных возмущений в связи с тектоническими процессами в окрестности обсерватории «Янгибазар» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 90. – EDN: BLRPGP

МЕЖМАГНИТУДНЫЕ СВЯЗИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СВОДНОГО КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАРПАТСКОГО РЕГИОНА

Н.В. Петрова, к.ф.-м.н., В.И. Левина ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В ежегодных обзорах журнала «Землетрясения Северной Евразии» сейсмичность Карпат описывается по данным двух каталогов: основного, создаваемого отделом сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины (ИГФ НАНУ), и дополнительного, предоставляемого лабораторией сейсмологии Института геологии и сейсмологии Молдовского государственного университета (ИГС МолдГУ). Сейсмологические сети, данные которых участвуют в обработке землетрясений, неравноценны – 21 стационарная и три временных сейсмических станции Украины по сравнению с шестью станциями Молдовы в 2020 году. Объединение указанных каталогов до сих пор не представлялось возможным, т.к. в их основе лежит разный набор энергетических (магнитудных) параметров землетрясений при отсутствии надёжных соотношений между ними. Если в ежегодных каталогах ИГФ НАНУ этот набор постоянен – энергетический класс *К*_Р по шкале Т.Г. Раутиан [1], магнитуда MSH по объёмным S-волнам, локальная магнитуда ML и магнитуда по длительности записи *MD*, – то в каталогах ИГС МолдГУ он не так стабилен: до 2017 г. включительно в них присутствовали энергетический класс K_P [1], магнитуды MD и MSM [2], а с 2018 г. – только локальные магнитуды ML_{MLD}. Для общих землетрясений магнитуды из дополнительного каталога периодически включались в основной каталог. Редакцией журнала в указанные каталоги также добавлялись локальные магнитуды *ML*BUC (Румыния) и магнитуды Ms, mb, Mw из бюллетеней ISC.

Для создания сводного каталога методом ортогональной регрессии установлены корреляционные связи между разными типами магнитуд и энергетическими классами из обоих каталогов. Установлено, что в среднем локальные магнитуды ML_{BUC} и ML_{MLD} равны; классы из обоих каталогов близки: $K_{P, MLD}=K_{P, CAR}+0.14$; магнитуды MD_{MLD} и MSM_{MLD} практически равны магнитуде M в известном уравнении Т.Г. Раутиан: $K_{P}=1.8 \cdot M+4$. Средние значения отклонений магнитуд разных типов от $M=(K_{P, CAR}-4)/1.8$ показаны в таблице ниже.

	Среднее	Стандартное	N	$M_{\min}-M_{\max}$	$K_{\min}-K_{\max}$	Годы
	значение	отклонение				
$MD_{\rm CAR} - M$	-0.16	0.25	329	0.6-4.2	4.0–12.2	2014–2020
$MSH_{CAR} - M$	-0.37	0.23	330	0.3-4.5	4.0–12.2	2014–2020
$ML_{\rm CAR} - M$	-0.27	0.20	292	0.3–3.6	4.0–11.1	2014–2020
$ML_{\rm BUC} - M$	0.42	0.41	111	1.1-4.8	5.6-12.2	2014, 2015, 2018–2020
$ML_{\rm MLD} - M$	0.44	0.39	58	2.4–5.8	8.2–13.6	2018-2020
$MSM_{MLD} - M$	0.01	0.30	91	2.3–5.4	8.1–14.3	2000, 2008, 2014, 2015
$MD_{\rm MLD} - M$	-0.01	0.24	66	2.5-5.0	8.8–14.3	2007, 2014, 2015

Установленные соотношения и создание сводного каталога помогут более объективно оценивать выделившуюся на территории Карпат сейсмическую энергию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Раутиан Т.Г.* Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР; № 32 (199). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.

2. *Магнитудная классификация землетрясений Вранчского очага* / Отчёт о результатах сейсмологических работ в 1986 г. Молдавская опытно-методическая партия. – Кишинёв: Фонды МОМП, 1987. – 57 с.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «СТОРОЖЕВОЕ» В ОБЛАСТИ ГЛОБАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Р.С. Пивоваров, С.П. Пивоваров ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В настоящей работе представлен анализ эффективности участия данных «Сторожевое» (VSR) в формировании одного из основных изданий ФИЦ ЕГС РАН – Сейсмологического бюллетеня за 2022 и 2023 гг.

Сейсмическая станция VSR установлена на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) с 1999 г. и оснащена широкополосным оборудованием. Исходные цифровые данные поступают в Центр обработки в режиме, близком к реальному времени. Результаты обработки полученных со станции данных участвуют в определении параметров гипоцентров как на региональном, так и на глобальном уровне [1, 2].

Ранее в 2012 г. были оценены регистрационные возможности станции «Сторожевое» по уровню микросейсмического фона, в настоящей работе такое исследование продолжено и проведено по записям 2022–2023 гг.

При сравнении каталогов сейсмических событий, зарегистрированных станцией VSR, с бюллетенями, публикуемыми ФИЦ ЕГС РАН, можно отметить, что результаты обработки записей станции VSR использовались для получения параметров эпицентров более чем в 35% случаев в зависимости от эпицентральных расстояний. Доля регистрируемых событий сейсмической станцией возрастает с 10-20% землетрясений с магнитудой M=3-4 до 75–90% с $M \ge 5.5$ и практически до 100% землетрясений с $M \ge 6$. В зависимости от расстояния на записях выделяются, кроме основных, и вторичные сейсмические фазы, включая глубинные фазы pP и sP, что позволяет более уверенно определять глубины землетрясений в Сейсмологическом бюллетене.

Особое значение имеет регистрация станцией «Сторожевое» сейсмических событий (редких землетрясений и многочисленных промышленных взрывов в карьерах) на Восточно-Европейской платформе.

По уровню сейсмического шума, числу зарегистрированных событий, отработанных методик распознавания природы землетрясений и полноте обработки волновой картины на различных расстояниях эту станцию можно отнести к разряду опорных, наряду с другими станциями, расположенными на Восточно-Европейской платформе.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Пивоваров Р.С.* Регистрационные возможности сейсмической станции «Сторожевое» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 259–262. – EDN: SSTXYH

2. *Пивоваров Р.С., Калинина Э.В.* Оценка магнитудных невязок широкополосной сейсмической станции «Сторожевое» // Двадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник трудов конференции. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2019. – С. 149–151.

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕСТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

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

Сетью сейсмических станций, работающей на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ), за период инструментальных наблюдений с 1996 г. зарегистрировано более 500 местных тектонических землетрясений и около 10 тыс. промышленных взрывов. Это требует выявления основных признаков разбраковки сейсмических событий по природе.

Для этих целей используются следующие признаки [1, 2]:

 наличие или отсутствие поверхностной волны (при близких тектонических землетрясениях она отсутствует);

– на записях промышленных взрывов объёмная поперечная *S*-волна практически отсутствует на всех каналах записи или имеет меньшую амплитуду относительно *P*-волны. Таким образом, отношение *P*/*S* при взрывах будет выше, чем при землетрясениях, т.к. *S*-волна при землетрясениях чётко выражена, особенно на горизонтальных каналах;

– координаты эпицентра и время в очаге. Если координаты совпадают с известным карьером, а время в очаге – светлое время суток, то можно предположить, что это карьерный взрыв. В то же время, совпадение координат сейсмического события и карьера не гарантирует, что это промышленный взрыв. При малейшем сомнении (записи события не похожи на предыдущие записи событий из этого карьера, время в очаге не соответствует, отсутствуют поверхностные волны) такие события необходимо относить в разряд тектонических;

– необходимо проверять наличие акустической звуковой волны, которая распространяется со скоростью около 330 *м*/*c*. Эти волны хорошо регистрируются на вертикальном канале. Если звуковая волна присутствует, то сейсмическое событие можно отнести к разряду взрывов;

– на записях промышленных взрывов, проводимых в крупных карьерах, *P*-волна не имеет чёткого вступления, для близких слабых одиночных взрывов *P*-волна будет чёткой и со знаком «+».

При регистрации сейсмического события несколькими станциями задача облегчается, т.к. в этом случае рассматриваются записи станций на различных расстояниях и азимутах, и один из указанных выше критериев может обнаружиться на ближайшей к эпицентру станции.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пивоваров С.П., Надёжка Л.И.* Цифровые записи землетрясений и взрывов на территории Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 155–157. – EDN: SWDULF

2. Ефременко М.А., Пивоваров С.П., Силкин К.Ю. Основные признаки волновых полей, возбуждаемых промышленными взрывами на территории Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 41. – EDN: IPIPHP

ПРИРОДА ПРЕЛОМЛЯЮЩИХ ГРАНИЦ В ВЕРХАХ КОРЫ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ И ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

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

По результатам обработки детальных данных продольных и поперечных волн, методом динамического пересчёта изучено сейсмическое строение среды до глубины ~ 3 км вдоль профиля 3-ДВ. В верхах земной коры структур восточной части Сибирской платформы – в осадочном чехле и в складчатых системах – выделены пологозалегающие преломляющие границы со скачками скорости волн и её градиента. Такие границы, зачастую секущие геологические складки, ранее прослеживались и по материалам ГСЗ, но на бо́льших глубинах. Близкие по ширине частотные спектры сигналов преломлённых волн до и после динамического пересчёта свидетельствуют о практически отсутствующей рефракции волн, что, как правило, наблюдается в осадочном чехле. Прослеженные сейсмические границы соответствуют литологическим разделам в осадочном чехле (например, в пределах Чульманской впадины) и поверхности платформенного фундамента [1].

Для волнового поля в складчатых областях, как правило, характерна потеря высокочастотных составляющих спектра преломлённых волн после динамического пересчёта. Это свидетельствует об интенсивной рефракции волн в верхней части коры таких областей. Например, в Сетте-Дабанском блоке Яно-Колымской складчатой системы на глубине ~1 км зафиксирована субгоризонтальная граница с граничной скоростью $6.4 \ \kappa m/c$ и значением коэффициента рефракции $0.09 \ \kappa m^{-1}$. Она сечёт геологические складки и интерпретируется как поверхность стратиграфического несогласия. В зоне Чай-Юринского разлома, разделяющего Аян-Юряхский и Иньяли-Дебинский блоки этой системы, по данным *P*- и *S*-волн также выявлена преломляющая граница на глубине $1.2 \ \kappa m$, коэффициент рефракции под которой составляет $0.05 \ \kappa m^{-1}$. Зафиксированы пониженные значения V_P/V_S (1.60-1.70) как над, так и под границей. Такие значения отношения скоростей свидетельствуют о повышенной раздробленности пород в приразломной зоне.

На Южном участке профиля 3-ДВ, пересекающем часть Становой складчатой системы, на глубине ~0.8 км зафиксирована преломляющая граница с рефракцией в толще под ней [2]. Граничная скорость продольных преломлённых волн составляет 5.8– 5.9 км/с, значения коэффициента рефракции составляют 0.06–0.08 км⁻¹. По геологическим данным [3], до глубин 9 км в Становой области преобладают породы, образованные в результате метаморфизма песчано-глинистых осадков. Скорость *P*-волн в покрывающей толще (~4.7 км/с) свойственна для осадочных пород, а повышенные значения скорости в подстилающей толще характерны для метаморфических пород. Поэтому граница интерпретируется как раздел между осадочными и метаморфическими породами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., 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

2. Полянский П.О., Еманов А.Ф., Сальников А.С. Построение скоростной модели верхней части земной коры зоны сочленения Евразийской и Охотоморской плит вдоль Северо-Восточного участка профиля 3-ДВ по результатам цифровой обработки данных продольных и поперечных преломлённых волн // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2023. – № 1. – С. 21– 35. – DOI: 10.20403/2078-0575-2023-1-21-35. – EDN: BLDBNM

3. *Павлов Ю.А., Парфенов Л.М.* Глубинное строение Восточно-Саянского и Южно-Алданского ограничений Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1973. – 118 с.

СКАЛЯРНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОМЕНТ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

^{1,2}П.А. Предеин, к.г.-м.н., ^{1,2}Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н.,
³В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н.
¹ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ
²БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ
³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Оценка энергии, выделившейся в очаге землетрясения, является важной задачей сетей сейсмического мониторинга разного уровня. Для определения параметров источника излучения применён метод инверсии огибающей коды [1], позволяющий учесть влияние среды распространения (рассеяние и поглощение сейсмической энергии) и локального приповерхностного усиления в районе регистрирующей станции. Суть метода заключается в минимизации невязки между наблюдаемой плотностью энергии и моделируемой в рамках теории переноса излучения огибающей для случая многократного изотропного рассеяния.

Инверсия выполнялась в октавных частотных диапазонах для записей длительностью 60 *с*, начиная от времени вступления поперечной волны до достижения уровня сигнал/шум, равного 3, но не менее 40 *с*, что соответствует «средней» ветви огибающей коды согласно Т.Г. Раутиан [2]. Использовались записи землетрясений с *ML* в диапазоне 1.9–5.5, зарегистрированные за 2019–2023 гг. в центральной части Байкальской рифтовой зоны на эпицентральных расстояниях 40–140 *км*.

Были получены оценки скалярного сейсмического момента M_0 , определяемого низкочастотным уровнем очагового спектра смещения, и рассчитаны моментные магнитуды Mw. Полученная зависимость между рассчитанной Mw по коде и локальной магнитудой совпадает с результатом, полученным для землетрясений Северо-Западного Кавказа в диапазоне ML=2.7-4.0 [3], и подтверждает, что разность между этими величинами близка к постоянной в широком диапазоне магнитуд. Таким образом, упрощённая модель рассеяния поперечных волн может применяться для энергетической классификации и определения очаговых параметров слабых и умеренных землетрясений, регистрируемых с хорошим соотношением сигнал/шум только на локальных расстояниях.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sens-Schönfelder C., Wegler U.* Radiative transfer theory for estimation of the seismic moment // Geophysical Journal International. – 2006. – V. 167, N 3. – P. 1363–1372. – DOI: 10.1111/j.1365-246X.2006.03139.x

2. *Rautian T.G., Khalturin V.I.* The use of coda for determination of the earthquake source spectrum // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1978. – V. 68, N 4. – P. 923–948. – DOI: 10.1785/BSSA0680040923

3. Зверева А.С., Собисевич А.Л., Лиходеев Д.В. К вопросу о взаимосвязи моментных и локальных магнитуд землетрясений Северо-Западного Кавказа // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2023. – Т. 508, № 1. – С. 98–107. – DOI: 10.31857/S2686739722601922. – EDN: GIHZSN

ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕНЗОРОВ МОМЕНТА ДВОЙНОГО ДИПОЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ И КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ В 2023 Г. И ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ 2024 Г.

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

В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН с 1970-х гг. ведутся работы по определению механизмов и параметров очагов сильных (*ML*≥5) землетрясений Камчатки и Командорских о-вов [1]. До 2022 г. включительно механизмы очагов камчатских землетрясений рассчитывались по знакам первых вступлений объёмных волн. По этой методике был получен камчатский каталог механизмов за 1970–2022 гг. Его основной проблемой является недостаточная точность индивидуальных решений, основная причина которой – неверная интерпретация знаков из-за низкого соотношения сигнал/шум [2].

Развёртывание на Камчатке сети современных широкополосных цифровых сейсмических станций в 2006–2010 гг. дало возможность определения тензора сейсмического момента (TCM) методом инверсии волновых форм. В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН была разработана программа RSMT (Regional Seismic Moment Tensor) для расчёта TCM [3]. В настоящее время по методике RSMT ретроспективно получен каталог TCM сильных камчатских землетрясений за 2010–2021 гг., определения механизмов и параметров очагов в котором хорошо согласуются с определениями из каталога GCMT [4].

С начала 2023 г. ведение каталога механизмов по знакам первых вступлений объёмных волн было завершено, и начато оперативное (в срок до одной недели после возникновения события) определение TCM землетрясений Камчатки и Командорских о-вов. В данной работе представлен каталог TCM за 2023 г. и первую половину 2024 г., приведены результаты сопоставления полученных механизмов и параметров очагов с данными каталога GCMT.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чубарова О.С., Гусев А.А., Чебров В.Н.** Свойства колебаний грунта при Олюторском землетрясении 20.04.2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 2. – С. 57–70. – EDN: LRGCXF

2. *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 / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 74–79. – EDN: VCCUTZ

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

4. *Ekström G., Nettles M., Dziewonski A.M.* The Global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2012. – V. 200–201. – P. 1–9. – DOI: 10.1016/j.pepi.2012.04.002

МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗАТИШЬЯ ПО МЕТОДИКЕ СОУС'09 (НА ПРИМЕРЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 13.06.2024 Г., *ML*=5.8, КАМЧАТКА)

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

На примере землетрясения 13 июня 2024 г. с магнитудой *ML*=5.8 показана возможность использования в целях исследования предвестников и прогноза землетрясений методики статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09 [1]. Более конкретно: предлагается новая методика обнаружения сейсмического затишья, предваряющего сильное землетрясение.

Методика СОУС'09 была разработана и внедрена в практическую деятельность Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН прежде всего в целях оценки текущего состояния сейсмичности [2]. Используемая параметризация сейсмического процесса рассматривается нами как удобный инструмент для сопоставления нескольких пространственных блоков с сильно различающимися (в абсолютных единицах – количество землетрясений, сейсмическая энергия и т.д.) сейсмическими потоками. Ранее и в настоящее время такой подход применялся и применяется в целях мониторинга состояния сейсмичности Камчатки и других регионов России с различной степенью детальности, включая мониторинг отдельных объектов [2]. Однако возможности этой методики оказались существенно шире заявленных изначально. В частности, на базе СОУС'09 предложена и внедрена в практику методика прогноза извержений вулкана Безымянный [3].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24 и НИР «Комплексное исследование предвестников сильных землетрясений и развитие методик прогнозирования сейсмической обстановки на Камчатке») с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Салтыков В.А.* Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59. – EDN: NSYPHR

2. *Салтыков В.А.* Статистическая оценка уровня сейсмичности «СОУС'09»: 10 лет использования на Камчатке // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 79. – EDN: EESSVT

3. *Салтыков В.А.* Прогнозирование извержений вулкана Безымянный (Камчатка) 2015–2020 гг.: результаты использования методики на основе СОУС'09, верификация параметров // Вулканология и сейсмология. – 2022. – № 6. – С. 76–86. – DOI: 10.31857/S0203030622060074. – EDN: TXIDLE

ОТРАЖЕНИЕ АКТИВНОСТИ КЛЮЧЕВСКОГО ВУЛКАНА В СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ СОУС'09 В 2023 ГОДУ

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

В октябре 2023 г. произошло извержение Ключевского вулкана (п-ов Камчатка), во время которого высота пепловой колонны достигла отметки ~15 км. Извержение предварялось высокой сейсмичностью.

По многолетним данным о сейсмичности района Ключевского вулкана [1], выделены четыре наиболее сейсмоактивных объёма среды под Ключевским вулканом: поверхностный (глубина (-4)-2 км), близповерхностный (глубина 4-8 км), промежуточный в коромантийном слое (глубина 20-25 км) и глубокий (26-34 км). Проанализирована динамика сейсмичности в этих объёмах в 2023 г. в целях обнаружения вариаций сейсмичности, маркирующих подготовку и завершение сильного извержения Ключевского вулкана.

Предварительно проведён расчёт временного хода параметра сейсмичности с различными окнами осреднения в соответствии с методикой статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09 [2]. Такая параметризация рассматривается нами как удобный инструмент для сопоставления нескольких пространственных блоков с сильно различающимися (в абсолютных единицах – количество землетрясений, сейсмическая энергия и т.д.) сейсмическими потоками. Ранее и в настоящее время такой подход применялся и применяется в целях мониторинга состояния сейсмичности Камчатки и других регионов России с различной степенью детальности, включая мониторинг отдельных объектов [3]. На базе СОУС'09 предложена и внедрена в практику методика прогноза извержений вулкана Безымянный [4].

Наиболее ярко рост сейсмичности с выходом на высокий и экстремально высокий уровни проявился в объёме на глубинах 4—8 км за один-три месяца до извержения. После кульминационной фазы извержения, произошедшей 1 ноября 2023 г., сейсмичность на глубинах более 20 км достигла экстремально высокого уровня, что может рассматриваться как потенциальный маркер завершения рассматриваемого извержения.

Исследование выполнено за счёт Российского научного фонда (грант № 24-17-20019; https://rscf.ru/project/24-17-20019/).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чеброва А.Ю., Чемарёв А.С., Матвеенко 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

2. *Салтыков В.А.* Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59. – EDN: NSYPHR

3. *Салтыков В.А.* Статистическая оценка уровня сейсмичности «СОУС'09»: 10 лет использования на Камчатке // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 79. – EDN: PQAYYA

4. *Салтыков В.А.* Прогнозирование извержений вулкана Безымянный (Камчатка) 2015–2020 гг.: результаты использования методики на основе СОУС'09, верификация параметров // Вулканология и сейсмология. – 2022. – № 6. – С. 76–86. – DOI: 10.31857/S0203030622060074. – EDN: TXIDLE
ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

^{1,2}Д.П.-Д. Санжиева, ^{1,2}Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н., ³Е.А. Кобелева, к.ф.-м.н. ¹БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ ²ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ ³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Суммарная энергия землетрясений за определённый период времени – это один из известных параметров оценки сейсмичности региона при использовании шкалы энергетических классов, наряду с общим числом землетрясений N, активностью (A₁₀ в частности) и наклоном графика повторяемости (у) [1]. При решении задачи качественной оценки сейсмического режима (например, при сравнении уровня сейсмичности разных районов или разных периодов) возникают сложности, связанные с тем, что одна и та же абсолютная величина выделившейся сейсмической энергии может быть аномально высокой для одного региона и аномально низкой для другого. В [2] показано, что в таких случаях более оправдано использование эмпирической функции распределения суммарной выделившейся сейсмической энергии, в отличие от применения абсолютных параметров. В ежегодных сборниках «Землетрясения России» и [3] уже приводилась оценка уровня сейсмичности для всего Байкальского региона. Поскольку сейсмичность в регионе неоднородна, мы провели оценку уровня сейсмичности для отдельных областей, выделенных по [4], используя эмпирические функции распределения сейсмической энергии в различных временных окнах по каталогу землетрясений с 1952 по 2023 год [5, 6].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24 и темы НИР № АААА-А21-121011890033-1) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/ 507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 408 с.

2. *Салтыков В.А.* Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59. – EDN: NSYPHR

3. *Салтыков В.А.* Формализованная оценка уровня сейсмичности на примере Камчатки и Байкальского региона // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 178–182. – EDN: SWDXVR

4. *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

5. Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. V. Прибайкалье [(2000 до н.э. – 500 н.э.) – 1974 гг.; *M*≥5.0; *I*≥6] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 315–338.

6. Основной каталог событий (01.01.1960–31.12.2023) // Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: https://seis-bykl.ru/modules.php?name=Data&tbl=1&d=1960-01-01&maxd=2023-12-31&sh=48.00&maxsh=60.00&dl=99.00&maxdl=122.00&k=8.6&maxk=17.5 (дата обращения 10.01.2024).

МАЛОАПЕРТУРНЫЕ ГРУППЫ В СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЕ. ПЕРВЫЕ 20 ЛЕТ

И.А. Санина, д.ф.-м.н., И.О. Китов, д.ф.-м.н., Н.Л. Константиновская, С.Г. Волосов ИДГ РАН, г. Москва

Существенным вкладом в развитие методологии и практики сейсмологических наблюдений на Восточно-Европейской платформе (ВЕП) в последние годы является установка в 2004 г. малоапертурной сейсмической группы (МСГ) «Михнево» на территории геофизической обсерватории Института динамики геосфер РАН (ИДГ РАН) [1]. МСГ «Михнево» – единственная действующая сейсмическая антенна в центральной части ВЕП. Целью создания группы являлось углублённое изучение геодинамического режима ВЕП на основе более точной оценки уровня природной сейсмичности на фоне интенсивной техногенной активности, выявления природы слабых сигналов, улучшения полноты и согласованности сейсмического каталога.

За 20 лет эксплуатации показана принципиальная возможность значительного снижения порога обнаружения сейсмических событий при размещении группы на территории с мощным осадочным чехлом. Создана база данных волновых форм региональных (магнитуда от 1.0) и телесейсмических источников. В развитие общей концепции МСГ были созданы временные трёхкомпонентные группы – «Сосновый бор», «Монаково», «Курск» и «Ростов Дон», – которые продемонстрировали преимущество в обнаружении и идентификации слабых источников. Разработан подход к локации и идентификации сейсмических событий методом согласованного фильтра (МСФ) [2]. Доказательством преимуществ МСГ явилась регистрация землетрясения вблизи г. Мариуполя (16.08.2016 г.) и его афтершоков с магнитудой порядка 2.0–2.5 двумя группами – «Михнево» и «Ростов Дон». Точность локации события и его афтершоков по двум группам с помощью МСФ сравнима с полученными по 49 сейсмическим станциям мировой сети. Многие из найденных МСГ афтершоков сетью не зарегистрированы.

Результаты 20-летней работы МСГ «Михнево» позволяют количественно оценить возможности дальнейшего развития сейсмологических наблюдений на ВЕП. Установка ещё двух МСГ на юге и северо-западе платформы позволит снизить магнитудный порог обнаружения в пределах ВЕП на 0.5–0.7, повысить в несколько раз точность локации и оценки магнитуды, а также надёжно различать естественную сейсмичность и техно-генную активность.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 122040400015-5) с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений «Михнево».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочарян Г.Г., Локтев Д.Н., Ряховский И.А., Санина И.А. Уникальная научная установка «Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений "МИХНЕВО"» // Геодинамика и Тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № 2. – Ст. 14. – DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0590. – EDN: SEEQHG 2. Китов И.О., Санина И.А., Сергеев С.С., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л. Обнаружение, оценка магнитуды и относительная локация слабых афтершоков с помощью кросс-корреляции волновых форм: землетрясение 7 августа 2016 г. в Мариуполе // Сейсмические приборы. – 2017. – Т. 53, № 2. – С. 58–80. – EDN: YRARID

ОЩУТИМОЕ ЧИКОЛИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 02.06.2024 Г. С *К*_P=10.9, *I*=4–5 БАЛЛОВ

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

Чиколинское землетрясение с K_P =10.9 произошло 2 июня 2024 г. в 6 км западнее села Чикола – административного центра Ирафского района предгорной части Республики Северная Осетия–Алания. Параметры землетрясения получены по данным 40 станций сейсмических сетей NOGSR (сеть N0), OBGSR (RU) и DAGSR (DA) [1], хорошо окружавших эпицентр (азимутальная брешь не превышала GAP=59°) на расстояниях от 10 до 393 км. Очаг рассматриваемого землетрясения локализован в пределах Армавир-Невинномысского разлома диагонального направления и приходится на место пересечения Сунженской северной и Владикавказской западной ветвей зон ВОЗ [2], для которых теоретически максимально возможная магнитуда оценивается в M_{max} =6.1 и 6.5 соответственно, и данное землетрясение не является максимально возможным. Оценка магнитуды Чиколинского землетрясения по данным Северо-Осетинского филиала (СОФ) ФИЦ ЕГС РАН (ML=4.3) близка к USGS (m_b =4.2). В течение 6 час. за основным толчком последовали два афтершока низких энергетических классов.

За последние 150 лет в очаговой зоне рассматриваемого землетрясения по данным каталогов [3, 4] известны 33 землетрясения с *M*=3.5–5.5. Наибольшими по энергии и ближайшими по расстоянию были события: 1879 г. (*M*=4.6, 23 км к юго-востоку от эпицентра) и Северо-Осетинское 1923 г. (*M*=4.8, 36 км к юго-востоку).

Макросейсмический эффект землетрясения был изучен сотрудниками СОФ ФИЦ ЕГС РАН в 39 населённых пунктах. На территории Северной Осетии–Алании оно проявилось с максимальной интенсивностью 4–5 баллов в сёлах Чикола, Хазнидон и Ахсарисар, 4 балла – в восьми населённых пунктах. В Кабардино-Балкарии ощущались 3–4-балльные сотрясения в сёлах Второй Лескен и Кашхатау, 3-балльные – в двух населённых пунктах. В Ставропольском крае землетрясение ощущалось на верхних этажах многоквартирных домов. Оценка интенсивности проводилась на основе шкалы MSK-64.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24-00/07) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Габсатарова И.П., Коломиец Ю.Н., Королецки Л.Н., Адилов А.З., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 23– 30. – EDN: IFQFOM

2. *Рогожин Е.А., Габсатарова И.П., Погода Э.В.* Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия–Алания // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции, посвящённой 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии». – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 243–249. – EDN: TPPXMF

3. Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). II б. Кавказ // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.

4. *Годзиковская А.А.* База данных «Каталог землетрясений Кавказа с *M*≥4.0 (*K*≥11.0) с древнейших времён по 2000 г.» [Электронный ресурс]. – URL: http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/ (дата обращения 19.04.2024).

О РАСШИРЕНИИ СЕТИ ГНСС-СТАНЦИЙ ФИЦ ЕГС РАН НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ

¹И.А. Сдельникова, к.ф.-м.н., ²А.А. Саяпина, ¹Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н., ¹А.Н. Хотинская ¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск ²СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

Методы космической геодезии, основанные на приёме сигналов Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), в настоящее время применяются для решения целого ряда научных и прикладных задач, в т.ч. для мониторинга геодинамических процессов и деформаций земной поверхности. Мировая сеть ГНСС-станций постоянно пополняется новыми пунктами наблюдений, повышается точность измерений. Многие тектонически активные районы земного шара достаточно плотно покрыты сетями ГНСС-станций. Так, например, в Японии станции равномерно покрывают территорию с шагом около 20 км. В то же время существуют сейсмически активные регионы, в которых представляют интерес расширение и уплотнение сетей ГНСС-станций. К числу таких регионов относится территория Северного Кавказа, и, в частности, территория Республики Северная Осетия–Алания (РСО–А).

На территории РСО–А функционирует сеть постоянных ГНСС-станций, в состав которой входят станции, расположенные в населённых пунктах Владикавказ, Лац, Ардон, Притеречный и Камата. Станция во Владикавказе, установленная в 2010 г., является одной из первых постоянных станций ГНСС на территории Северного Кавказа. Сеть создавалась для изучения геодинамических особенностей данного района. Особенности строения рассматриваемого региона в глобальном масштабе являются результатом вза-имодействия двух крупных литосферных плит – Евразийской и Аравийской. Столкновение плит привело к формированию сложной системы разломов и флексурно-разрывных зон, которые обуславливают сейсмичность данного района [1]. По имеющимся многолетним наблюдениям уже выполнялись оценки горизонтальных скоростей смещений станций сети, исследовались многолетние деформации земной коры региона [2]. Для исследования более детальных пространственных, а также временных особенностей современных движений и деформаций земной коры региона сеть необходимо уплотнять.

В данной работе для выявления перспективных мест установки новых базовых ГНСС-станций было построено распределение величины сейсмических смещений от произошедших и возможных землетрясений для данного района. Также с учётом конфигурации действующей сети, геологического строения, особенностей рельефа и наличия инфраструктуры определены потенциальные места для установки новых ГНСС-станций. Установка новых станций позволит увеличить объём получаемой геодинамической информации и получить новые сведения о геодинамике такого сложного по строению региона.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24-00/07).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рогожин Е.А., Милюков В.К., Миронов А.П., Овсюченко А.Н., Горбатиков А.В. и др.* Характеристики современных горизонтальных движений в зонах заметных землетрясений начала XXI в. в центральном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с новейшей тектоникой и глубинным строением земной коры // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 91–102. – DOI: 10.21455/GPB2019.1-8. – EDN: ZAMVJB

2. *Миронов А.П., Милюков В.К., Стеблов Г.М. и др.* 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

АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИНЫ

В.С. Селезнев, д.г.-м.н., И.В. Коковкин, В.Э. Дежнев, Г.А. Лопатин СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Плотины являются гидротехническими сооружениями с повышенной опасностью и требуют постоянного наблюдения за их техническим состоянием для предупреждения возникновения различного рода аварий. Саяно-Шушенская ГЭС является одной из самых крупных среди них в России и в мире, поэтому следить за её техническим состоянием – первоочередная задача. В теле плотины образовывались трещины, куда шла вода под высоким давлением [1]. Хотя в 1996 г. трещины были заинъектированы вязкими полимерными смолами, срок эксплуатации подобных составов составляет не более 30 лет, а учитывая, что с того времени прошло уже 28 лет, вопрос диагностики трещин становится все актуальней.

Данное исследование направлено на изучение состояния Саяно-Шушенской ГЭС путём анализа изменения частот её собственных колебаний при раскрытии трещины в теле плотины. Способом такого мониторинга является «Прецизионный метод дистанционного контроля частот собственных колебаний зданий, сооружений и работающего оборудования», разработанный в ФИЦ ЕГС РАН [2]. Как известно, частоты собственных колебаний являются ключевыми динамическими параметрами, по которым можно оценивать состояние исследуемого объекта, т.к. они зависят от структуры и материалов, из которых объект построен. Поэтому любые серьёзные отклонения от их средних значений будут давать представление о каких-либо изменениях, происходящих в изучаемом объекте. С помощью процедуры накопления полезного сигнала можно выделить собственные колебания плотины и определить значения её собственных частот в спектрах сейсмических записей со станции, установленной в 3 км от неё.

Предполагается, что в плотине Саяно-Шушенской ГЭС есть трещина и, согласно предварительным исследованиям, на её раскрытие влияет уровень воды в плотине и температурные изменения. Нами было замечено, что при максимальном уровне воды в водохранилище, а, следовательно, при максимальной нагрузке, происходит резкое изменение частот собственных колебаний плотины, что может свидетельствовать о происходящем раскрытии трещины.

Проводимый мониторинг изменения собственных частот плотины, мы надеемся, позволит определить, при каком уровне водохранилища и в какой период происходит раскрытие трещины, остаются ли данные изменения одинаковыми или параметры каждый раз меняются.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-27-00145).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шварц И. Саяно-Шушенская ГЭС опасна // «Коммерсант» от 11.04.1998 г. – № 64. – URL: http://www.kommersant.ru/doc.aspx?DocsID=196359 (дата обращения 24.05.2024).

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

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И РАБОТАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

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

Прежде всего следует определить, что понимается под словом «мониторинг». Мониторинг – это непрерывные (24/7) наблюдения (в контексте этого исследования – сейсмологические), которые проводятся с целью контроля каких-либо процессов или явлений. Иногда под мониторингом понимают повторяющиеся с некоторым периодом измерения каких-либо характеристик, но это не верно, так как в этом случае возможен пропуск самого важного – момента начала разрушительных процессов. Любое здание или сооружение характеризуется набором мод собственных колебаний. Известно, что от различных источников колебаний, их окружающих, формируются стоячие волны. В результате само сооружение или здание становится источником сейсмических волн, которые распространяются в окружающей среде и регистрируются сейсмическими станциями. Для достоверного определения мод и частот собственных колебаний в изучаемом объекте необходимо его детально исследовать методом стоячих волн [1]. После этого контролируемое здание или сооружение можно рассматривать как набор вибрационных источников, излучающих сейсмические волны со своей определённой частотой, равной частоте собственных колебаний. Моды собственных колебаний характеризуют физическое состояние здания или сооружения, а вариации частот определяют изменения, происходящие в них. Анализ этих вариаций во времени даёт информацию о том, что происходит с контролируемым объектом. Несмотря на то, что сейсмические волны распространяются в среде с затуханием, они выделяются из сейсмического шума на значительном (до нескольких километров) расстоянии от объектов за счёт процедур накопления (т.к. эти сигналы фактически монохроматические на некотором интервале времени). Таким образом, появляется возможность контроля физического состояния зданий и сооружений за счёт специальной обработки сейсмологических записей, полученных на расстоянии от изучаемого объекта. С помощью преобразования Фурье сейсмограммы преобразуются в спектрограммы. На них выделяются сигналы с частотами, которые были определены в результате исследования методом стоячих волн на объекте. После этого определяются в непрерывном режиме такие характеристики сигналов, как амплитуда, частота и направленность. Со временем, анализируя корреляционные зависимости между этими параметрами и физическим состоянием объекта, можно научиться не только следить за его состоянием, но и прогнозировать его поведение. Аналогичным образом контролируется состояние работающего оборудования – для анализа используются сейсмические волны, излучаемые им. При этом работающее оборудование рассматривается как вибратор, который излучает как линейные (в виде синусов), так и нелинейные сигналы. В последнем случае в спектрах появляются кратные частоты. Появление кратных частот и их возрастание по амплитуде говорит о том, что в работе оборудования происходят нелинейные процессы. Изучение последних даёт дополнительную информацию о состоянии оборудования.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24), поддержке Российского научного фонда (грант № 24-27-00145) 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 / Патент на изобретение RU 2140625 C1, 27.10.1999. Заявка № 98102539/03 от 17.02.1998.

ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА ПО СТЕПЕНИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

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

Комфортность условий среды обитания человека в значительной степени зависит от сейсмических условий как природных, так и вызванных антропогенной и, в особенности, техногенной нагрузкой. К антропогенной нагрузке, которая вызывает изменение фоновых сейсмических условий, относятся, в первую очередь, техногенные воздействия, обусловленные в основном добычей открытым способом полезных ископаемых в 20 промышленных карьерах Центрально-Чернозёмного экономического района (ЦЧЭР) путём проведения в крупных карьерах короткозамедленных промышленных взрывов суммарной мощностью 100–2500 *m*.

Ежегодно в крупных карьерах производится более 120 промышленных взрывов, т.е. каждые три дня производится, по крайней мере, один крупный промышленный взрыв, вызывая сейсмическое событие $K_P \ge 6.0$. Регулярность проведения взрывов в крупных карьерах способствует накоплению энергии, вплоть до насыщения геологической среды. Степень насыщения геологической среды сейсмической энергией в первом приближении можно оценить по двум параметрам:длительности сейсмического воздействия и его средней интенсивности на этом промежутке.

Комплексный анализ указанных выше параметров для взрывов в карьерах возле городов Павловска, Железногорска и Губкина по записям сейсмических станций региональной и локальной сети впервые позволил количественно оценить степень их воздействий на геологическую среду. Учитывая экспериментальную оценку дальности регистрации и кумулятивную модель природных и техногенных событий, для зонирования использовались следующие параметры: продолжительность сейсмического воздействия; средний квадрат его амплитуды; продолжительность максимального воздействия; его осреднённое значение и характер затухания [1]. В результате на территории ЦЧЭР выделены три уровня сейсмических воздействий от взрывов в крупных карьерах и соответствующие им зоны: высокого воздействия, среднего и зона нормы.

В зону высокого воздействия включались территории, в пределах которых интенсивность воздействия превышала уровень фоновых колебаний в 100 и более раз. При этом длительность максимальных воздействий составляла 30 и менее секунд. Учитывая разницу в мощности взрывов в разных карьерах, радиус данной зоны у Железногорского карьера составляет 150 км, у Стойленского и Лебединского – около 100 км, у Павловского – 60 км. В зоне среднего воздействия расположены территории, где превышение уровня микросейсмических колебаний составляет 10–100 раз, а длительность максимального воздействия – 30–60 с. Нижняя граница данной зоны удалена от пунктов взрыва на расстояние 250 км. Территории, удалённые от крупных карьеров на расстояние более 250 км, относятся к зоне нормы, в которой сейсмические воздействия от взрывов превышают фоновые колебания не более чем в 10 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косинова И.И., Надёжка Л.И., Семенов А.Е., Сафронич И.Н., Ежова И.Т., Силкин К.Ю., Пивоваров С.П. Критерий экологических оценок сейсмических воздействий, возникающих при производстве промышленных взрывов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2021. – № 1. – С. 82–93. – DOI: 10.17308/geology.2021.1/3340. – EDN: JVGFGH

АППАРАТУРА «БАЙКАЛ» ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

¹В.М. Семибаламут, к.ф.-м.н., ¹А.Ю. Рыбушкин, ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹Р.А. Ершов, ¹А.А. Бах, ¹Д.Г. Корабельщиков ¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Регистраторы серии «Байкал» применяются для решения широкого спектра задач в геофизике и сейсмологии более 25 лет [1]. В связи с бурным развитием элементной базы, в частности, микроконтроллеров, прецизионных АЦП, FPGA и модулей глобального позиционирования, таких, как GPS и GLONASS, стало возможным создание аппаратуры с высочайшими метрологическими и эксплуатационными характеристиками. В таблице приведены некоторые характеристики регистратора «Байкал-8» и их сравнение с характеристиками некоторых отечественных и зарубежных регистраторов.

	Reftek-130-01	Q330HR	Ермак-5	Байкал-8
Число каналов	6 (3/3)	6 (3/3)	1–6	6
Частота дискретизации (sps)	1-1000	1–200	1-2000	50-4000
Динамический диапазон (100 sps)	130 <i>дБ</i>	140/130 <i>∂Б</i>	120 дБ	132 дБ
Полоса пропускания (-3 дБ & 100 sps)	0—43 Гц	0—42 Гц	н/д	0—47 Гц
Уровень шума на частоте 0.01 $\Gamma \mu (V^2/\Gamma \mu)$	<i>−</i> 110 <i>∂Б</i>	−108 дБ	н/д	<i>−</i> 120 <i>∂Б</i>
Потребляемая мощность (6 каналов)	2.1 <i>Bm</i>	2.5 Bm	2 <i>Bm</i>	2 <i>Bm</i>
Bec	2 кг	3.7 кг	2 кг	2 кг

Аппаратура используется для оснащения сетей стационарных станций, для обследования зданий и сооружений методом стоячих волн, для систем мониторинга в горных выработках и на особо ответственных инженерных сооружениях [2, 3]. Для разных видов работ выпускаются свои модификации. В докладе описана современная линейка регистраторов – стационарных «Байкал-8» и «Байкал-8L» и автономных «Байкал-А2», «Байкал-А3», – а также примеры их применения в полевых условиях для временных сетей станций, для сейсмического микрорайонирования, для обследования и мониторинга зданий и т.п. Аппаратура при подсоединении к модему позволяет передавать сейсмические данные в центр обработки в режиме, близком к реальному времени.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Семибаламут В.М., Рыбушкин А.Ю.* Комплекс автономных регистраторов сейсмических сигналов высокого разрешения // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы Международной конференции. – Новосибирск: СО РАН, 2003. – С. 420–428. – EDN: TBOIDT

2. *Семибаламут В.М., Рыбушкин А.Ю., Юшкин В.Ф. и др.* О системе контроля поперечных деформаций скважин и сейсмических процессов в подземных горных выработках рудников // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 1. – С. 111–119. – EDN: NWZPDL

3. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Красников А.А., Дураченко А.В.* Сейсмический мониторинг зданий и важных промышленных объектов (алгоритмы и методика) // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири. Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием. – Новосибирск: Полиграфика, 2013. – С. 141–149. – EDN: TCAUSF

СПОСОБЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

¹П.А. Сергушин, к.т.н., ¹В.С. Исмагилов, к.ф.-м.н., ¹Ю.А. Копытенко, д.ф.-м.н., ¹М.С. Петрищев, к.т.н., ²В.Р. Юсупов, к.г.-м.н. ¹СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург ²ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Рассматриваются различные способы обнаружения низкочастотных ($F < 1 \Gamma \mu$) электромагнитных предвестников сильных землетрясений. Фазово-градиентный метод [1] позволяет за несколько месяцев до сильных землетрясений (М>5) установить, что величины градиентов и фазовых скоростей низкочастотных возмущений магнитного поля начинают аномально изменяться, а в распределении направлений векторов градиентов появляется направление на очаг предстоящего сильного землетрясения. Векторы градиентов и фазовых скоростей вдоль земной поверхности определяются по данным группы из трёх высокочувствительных магнитовариационных трёхкомпонентных магнитных станций [2], расположенных треугольником на небольшом расстоянии ($L \le 5 \kappa M$) друг от друга (магнитный градиентометр). Установлено, что взаимно корреляционные коэффициенты между соответствующими компонентами низкочастотных возмущений, зарегистрированные на каждой из трёх пар магнитных станций градиентометра за один-два месяца до землетрясения, возрастают, а после землетрясения резко уменьшаются [3]. Численным экспериментом показано, что при наличии сильных техногенных помех в районах расположения магнитных станций, максимальные значения амплитуд возмущений в заданном диапазоне частот в распределениях, построенных на каждой станции градиентометра, увеличиваются при наложении нарастающих возмущений электромагнитных полей, созданных далёким источником.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Копытенко Ю.А., Исмагилов В.С., Петрищев М.С.* Исследование геоэлектрической структуры земной коры методом фазово-градиентного зондирования // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 462, № 3. – С. 352–355. – DOI: 10.7868/S0869565215150256. – EDN: TQQXWD

2. *Сергушин П.А., Петрищев М.С.* Геофизическая станция GI-MTS-1 и возможности её применения для локализации источников электромагнитных возмущений // Исследование магнитного поля Земли как фактор прогресса национальной безопасности России: сборник докладов научно-практического семинара. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПбФ ИЗМИРАН, 2022. – С. 68–70.

3. Петрищев М.С., Копытенко Ю.А., Сергушин П.А., Исмагилов В.С., Хусомиддинов С.С., Юсупов В.Р. Анализ электромагнитных возмущений в связи с тектоническими процессами в окрестности обсерватории «Янгибазар» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 90. – EDN: BLRPGP

ТROVA – ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ В СЕЙСМОЛОГИИ

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

Развитие теории, методологии и практики применения искусственных нейронных сетей (ИНС) в самых разнообразных сферах за последнее десятилетие привело к двойственному тренду. С одной стороны, доступность высокопроизводительных вычислительных средств позволило представлять для работы ИНС сверхизбыточные исходные данные, чтобы они сами нашли в них некоторые закономерности. Но, с другой стороны, существует тренд на создание и применение сверхкомпактных метрик, которые дают возможность ИНС успешно работать с минимумом вычислительных ресурсов.

Обе эти тенденции связаны преимущественно с особыми разновидностями архитектур ИНС – глубокими нейросетями (ГИНС). Применительно к сейсмологии перспективность демонстрируют такие виды ГИНС, как свёрточные и самоассоциирующие [1]. Они характеризуются большим числом последовательных и (возможно) рекуррентных слоёв, каждый из которых, как правило, управляется одним или несколькими параметрами. Общее число слоёв в самых обычных подобных ГИНС может превышать десять, а суммарный набор параметров у них – измеряться десятками.

Параметры эти не являются предметом автоматического обучения сети, а формируют суть её архитектуры. Поэтому задавать их должен разработчик ещё до начала обучения. Проблема выбора архитектуры ГИНС столь сложна и остра, что получили даже распространение типовые архитектуры сетей, настроенных и обученных для решения общераспространённых задач [2]. Исследователю при этом остаётся лишь слегка модернизировать их под свои нужды.

Очевидно, такой подход не применим при разработке ГИНС для решения новых задач. Поэтому потребовалось разработать специальное программное обеспечение Trova, выполняющее сразу несколько важных функций, в том числе: ведение базы данных сейсмических записей; формирование их метрик, подлежащих анализу (в данном случае – двоичные отпечатки [3]); интерфейс для интерактивного построения базовых черт архитектуры ИНС и фиксации возможных значений искомых параметров; система создания, обучения и тестирования сетей; итеративный алгоритм перебора вариантов сетей; инструмент оценки качества сети с тестируемой архитектурой; мощный арсенал средств визуализации результатов исследования архитектур для обоснованного выбора не только самого точного, но и более устойчивого решения.

С помощью ПО Trova уже были получены первые результаты по созданию оптимальной архитектуры свёрточной сети, достигающей качества 94% при распознавании типа события по записи, что явно не предел.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ульянов Н.А., Яскевич С.В., Дергач П.А., Яблоков А.В. Детекция записей слабых локальных землетрясений с использованием нейронных сетей // Геофизические технологии. – 2021. – № 2. – С. 13–23. – DOI: 10.18303/2619-1563-2021-2-13. – EDN: YDFWLR

2. *Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., Erhan D., Vanhoucke V., Rabinovich A.* Going deeper with convolutions // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – Columbus, 2015. – P. 1–9. – DOI: 10.48550/arXiv.1409.4842

3. *Силкин К.Ю*. Двоичные отпечатки результатов вейвлет-анализа записи сейсмического события как инструмент формирования его компактного образа для целей нейросетевого распознавания // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 4. – С. 42–55. – DOI: 10.35540/2686-7907.2022.4.03. – EDN: EMMMDC

ПАРАМЕТРЫ И СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПАМИРА И ГИНДУКУША

А.Н. Соколов, Л.Г. Дуленцова ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Уникальная зона глубокофокусной сейсмичности в районе Гиндукуша и район Памира являются одними из самых сейсмически активных районов Центральной Азии. За последние 30 лет здесь произошло несколько разрушительных землетрясений, сопровождавшихся большим количеством жертв. На территории Центральной Азии высокая плотность населения, большое количество крупных городов, имеется критическая инфраструктура (нефте- и газопроводы, хвостохранилища), а также планируется строительство атомных электростанций в Узбекистане и Казахстане. В связи с этим исследование сейсмической опасности региона, анализ макросейсмических воздействий и анализ данных сильных движений являются актуальными и практически ценными задачами. Сильнейшие из гиндукушских глубокофокусных землетрясений ощущаются на территории России, например, в городах Новосибирске и Уфе. В работе [1] показано, что очень часто сильные глубокофокусные землетрясения с эпицентрами из района Гиндукуша группируются с коровыми землетрясениями из района Памира. В настоящей работе рассматриваются две пары таких землетрясений: 26 октября 2015 г. (*Мw*=7.5) в районе Гиндукуша [2] и 7 декабря 2015 г. (*Мw*=7.2) в Горно-Бадахшанской области, вблизи оз. Сарез [3]: 23 февраля 2023 г. (*Мw*=6.8), вблизи оз. Сарез и 21 марта 2023 г. (*Мw*=6.5) в районе Гиндукуша. Землетрясения ощущались во многих населённых пунктах Центральной и Южной Азии [2-4], в настоящей работе проводится анализ основных параметров землетрясений, а также сейсмических воздействий.

Для анализа сильных движений использованы данные акселерометров сильных движений как глобальных сетей мониторинга, так и региональных сейсмических сетей Таджикистана, Кыргызстана, Казахстана, а также данные систем раннего предупреждения.

Обработаны данные сильных движений в широком диапазоне эпицентральных расстояний, построены спектры реакции, исследованы зависимости PGA от гипоцентрального расстояния. В целом для гиндукушских землетрясений дальность регистрации больше. Полученные результаты необходимо использовать в задачах оценки сейсмической опасности региона.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Копничев Ю.Ф., Баскутас И., Соколова И.Н.* Пары сильных землетрясений и геодинамические процессы в районе Центральной и Южной Азии // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 5. – С. 49–58.

2. *Мусрепов А.В., Соколов А.Н.* Очаг и последствия сильнейшего Гиндукушского землетрясения 26 октября 2015 г. (*Мw*=7.5) // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 4. – С. 62–69.

3. Соколов А.Н., Муродкулов Ш.Я. Записи сильных движений Памирского землетрясения 7 декабря 2015 г. и его афтершоков // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов XI Международной конференции молодых учёных и студентов. В 2 т. Т. 1. – Бишкек: НС РАН, 2019. – С. 190–196. – EDN: CUCYWF

4. *Соколов А.Н., Мусрепов А.В.* Сейсмические эффекты от глубокофокусных землетрясений в дальней зоне // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов X Международной конференции молодых учёных и студентов. – Бишкек: НС РАН, 2018. – С. 104–111. – EDN: XWGWDJ

ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ КРУПНЫХ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ НА ВОСТОКЕ РОССИИ ПО ДАННЫМ ГСЗ (В СТВОРЕ ОПОРНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ)

¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ²В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ³В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н., ⁴С.В. Шибаев, ⁵А.С. Сальников, д.г.-м.н., ²А.В. Лисейкин, к.г.-м.н., ¹Н.А. Галёва, ¹А.Е. Шенмайер ¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, ²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск ³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск ⁴ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск ⁵ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Современная геодинамика и сейсмичность Дальневосточного региона в значительной мере определяются взаимодействием Евразийской, Тихоокеанской, Североамериканской, Амурской и Охотоморской плит. Для двух последних плит конфигурация и положение границ являются предметом активного изучения. Известные исследования геологическими методами в настоящее время дополнены данными потенциальных геофизических полей и сейсмологии. Новые факты получены с помощью активно развивающихся методов космической геодезии. При определении положения границы плиты учитывается большой набор признаков границ: геологические (конфигурация, палеонтологическая информация, особенности разломных структур), распределение возраста пород, полосовых магнитных аномалий и теплового потока, «молодой» базальтовый вулканизм, особенности глубинной структуры и рельефа, сейсмичность. Несмотря на обилие имеющейся информации, существует неоднозначность в местоположении границ сочленения плит, и это делает актуальным использование новой дополнительной информации о зонах сочленения плит.

Проведённые в последние два десятилетия глубинные сейсмические исследования на опорных геолого-геофизических профилях позволяют прояснить связь плитных смещений и глубинной структуры региона Дальнего Востока. Как показано в [1], оценка мощности коры и мантии очень важна при анализе и выделении границ плит, что показывает определяющее значение глубинных сейсмических методов в геодинамических исследованиях. В работе проведено сопоставление результатов сейсмологии и ГСЗ с существующими геодинамическими построениями в области сочленения Евразийской и Амурской плит. Подтверждены установленные ранее [1] (в области сочленения Евразийской, Охотоморской и Североамериканской плит) сейсмические критерии границ, заключающиеся в небольшой мощности земной коры (37–42 км), низких значениях граничной скорости по границе Мохо от 7.85 км/с до 8.0 км/с и пониженном значении средней (эффективной) скорости продольных волн в земной коре (в ~6.3 км/с). В створе опорных профилей 1-СБ и 8-ДВ область сочленения Евразийской и Амурской плит представляет собой широкую напряжённую зону с максимальным количеством землетрясений, максимумом показателя полной выделенной энергии и пониженными глубинами гипоцентров землетрясений. На глубинном сейсмотомографическом разрезе в данной зоне отмечается чрезвычайно неоднородная средняя кора, снижение контрастности отражений в низах коры и разделе Мохоровичича по материалам глубинного ОГТ; для широкой зоны сочленения установлены пониженные значения отношений скоростей *P*- и *S*-волн в земной коре до 1.6–1.7 и пониженный коэффициент Пуассона до 0.20, что может свидетельствовать о повышенной раздробленности земной коры.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Сальников А.С. и др. Особенности сейсмического строения области сочленения Евразийской и Охотоморской плит на востоке России (в створе опорного профиля 3ВД) // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 11. – С. 2044–2058. – EDN: WZJFUX

КОНЦЕНТРАЦИИ ПОДПОЧВЕННОГО УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В РАЙОНЕ ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

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

Известно [1], что порядка 90% выбросов мантийного углерода происходит в результате извержений вулканов, диффузной дегазации в районах вулканических построек, срединно-океанических хребтов и вулканических озёр. Дополнительный вклад в углеродный след вносят выбросы парниковых газов в зонах активных разломов земной коры. При этом отмечается неравномерность процессов тектонической дегазации из-за наличия более динамичных участков, но подобные вопросы остаются недостаточно изученными.

Для Камчатского полуострова характерно большое количество активных разломов, образующих ряд северо-западного простирания [2], что может влиять на интенсивность потоков парниковых газов эндогенного происхождения. Поэтому с 2022 г. на базе КФ ФИЦ ЕГС РАН проводятся исследования с целью разработки приближенной модели дегазации литосферы в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона.

По результатам полевых исследований 2023 г., на примере двух тектонических разломов показано, что на протяжении всей их длины (до 30 км) наблюдаются повышенные концентрации подпочвенного углекислого газа. Полученная информация позволила сделать предварительную оценку пространственного распределения величин эмиссии CO₂ в разломных зонах.

Анализ данных о концентрациях углекислого газа на стационарном пункте мониторинга в Петропавловске-Камчатском показал качественную корреляцию с метеопараметрами, а рассчитанные величины эмиссии согласуются с данными Национального атласа почв Российской Федерации. Поэтому подобная методика оценки потоков углекислого газа может быть успешно использована на стационарных пунктах мониторинга в разломной зоне. Обзор сейсмичности Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона (1961 г. – н.в.) позволил локализовать области с повышенной тектонической активностью, что может влиять на величину эмиссии парниковых газов. Данное предположение будет проверено на следующих этапах исследования с использованием портативных приборов производства LI-COR и/или PP Systems.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lee H., Muirhead J., Fischer T. et al.* Massive and prolonged deep carbon emissions associated with continental rifting // Nature Geoscience. – 2016. – V. 9, N 2. – P. 145–149. – DOI: 10.1038/NGEO2622 2. *Кожурин А.И., Пономарева В.В., Пинегина Т.К.* Активная разломная тектоника юга Центральной Камчатки // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2008. – № 2, вып. 12. – С. 10–27. – EDN: JVHWUZ

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ЛЕНЫ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

^{1,2}Р.М. Туктаров, ¹С.В. Шибаев ¹ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск ²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

С 2016 по 2020 г. Якутский филиал ФИЦ ЕГС РАН проводил совместные исследования с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова (г. Москва) и Институтом Альфреда Вегенера полярных и морских исследований (AWI, Германия). В рамках данного проекта (SIOLA) была развёрнута сейсмическая сеть в дельте реки Лены, включающая в себя до 30 временных станций. Геометрия сети ежегодно менялась. Все регистрирующие пункты были оснащены пассивными датчиками MARK 3C 1s, системами сбора данных СUBE и двумя батареями 80 Ah, которые были погружены на глубину 70–90 *см* в частично мёрзлый грунт.

Землетрясения данного региона относятся к Арктико-Азиатскому сейсмическому поясу, который по особенностям напряжённого состояния земной коры и характеру разрывных нарушений подразделяется на Лаптевоморскую и Хараулахскую сейсмотектонические зоны и зону горной системы Черского [1].

В настоящей работе приводится анализ землетрясений с учётом их пространственно-временных и спектрально-частотных характеристик, зарегистрированных временными станциями проекта "SIOLA" и региональной станцией ТІХІ.

Локальная сеть позволила регистрировать слабые события, однако, вследствие прерывистого характера регистрации из-за ограниченного объёма памяти, каталог землетрясений с $K_P \leq 8.0$ следует считать неполным. Тем не менее, были обнаружены некоторые временные вариации проявления сейсмичности, которые, возможно, связаны с криогенными процессами, протекающими в верхней части земной коры на суше и в акватории моря Лаптевых. Наибольшее число сейсмических событий фиксировалось в октябреноябре 2016–2019 гг., большая часть из которых – с $K_P \leq 6$. В пространственном отношении выделяется зона эпицентров, секущая дельту в северо-западном–юго-восточном направлении, маркирующая Оленёкский разлом, и диффузное распределение сейсмичности в пределах губы Буор-Хая и на шельфе моря Лаптевых.

Был проведён спектрально-временной анализ записей землетрясений. Для большинства землетрясений характерен амплитудно-частотный диапазон 2–10 Ги с пиковыми амплитудами в полосе частот 6–8 Ги. Продолжается работа по выявлению особенностей землетрясений, произошедших на суше и в акватории моря.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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. – 224 с. – EDN: TIOCPL

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ВРЕМЕННЫМИ СЕТЯМИ СТАНЦИЙ НАВЕДЁННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ДОБЫЧИ УГЛЯ РАСПАДСКОЙ УГОЛЬНОЙ КОМПАНИЕЙ

^{1,2}А.В. Фатеев, к.ф.-м.н., ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹Р.А. Ершов, ¹Е.В. Шевкунова, ¹Е.А. Гладышев ¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Разработка полезных ископаемых в Западной Сибири приводит к реализации тектонических напряжений, накопленных в ходе естественных процессов. Начиная с 2005 г., в Кузбассе и Новосибирской области выполнено свыше десятка экспериментальных исследований с детальными сетями сейсмологических станций, нацеленных на изучение техногенных сейсмических активизаций при разработках угля как открытым, так и закрытым способами [1, 2].

Экспериментальные работы с локальной сетью из 20 станций в районе шахты «Распадская» в Кузбассе стартовали сразу после аварии, которая привела к гибели 90 человек вследствие серии подземных взрывов метана 8–9 мая 2010 г. и продолжались в течение двух лет. Зафиксированы техногенные землетрясения вплоть до энергетического класса K_P =6, пространственно увязанные с положением угледобывающих забоев. Глубины гипоцентров составили от 500 до 2500 *м*, механизмы очагов представлены преимущественно сбросами [3].

5 июля 2022 г. приблизительно в том же районе было зарегистрировано землетрясение с ML=4.4, сопровождавшееся обрушением породы в горных выработках шахты «Распадская-Коксовая» [4]. В результате исследования данной активизации локальной сетью из семи станций за неполные два года зафиксировано более 10000 техногенных землетрясений в основном на глубинах порядка 1–2 км непосредственно в районе горных работ. Оценка уровня воздействий от них на территорию шахты соответствует интенсивности сотрясений до 6 баллов по шкале ШСИ-17.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/), и ИНГГ СО РАН по проекту ФНИ № FWZZ-2022-0021.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В.* Экспериментальное исследование наведённой сейсмичности в Кузбассе // Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в области сильного техногенного воздействия / Отв. ред. Н.Н. Мельников. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – Разд. V. – С. 426–459.

2. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Антонов И.А., Ершов Р.А. Свойства техногенной сейсмичности в районах горнодобывающей деятельности в Западной Сибири // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XVI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 39. – EDN: BPBILV

3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Селезнев В.С., Манушина О.А., Смоглюк А.С., Шевкунова Е.В. Техногенная сейсмичность шахты «Распадская» // Землетрясения России в 2010 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2012. – С. 90–95. – EDN: UAYQIV

4. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Янкайтис В.В., Ершов Р.А., Полянский П.О. Техногенная сейсмическая активность в районе выработок Распадской угольной компании // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 139–144. – EDN: CGSFVK

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ СЕЙСМОИНФРАЗВУКОВЫМ КОМПЛЕКСОМ ZEFI (ОСТРОВ ЗЕМЛЯ АЛЕКСАНДРЫ) В ВЫСОКОШИРОТНОЙ АРКТИКЕ

¹А.В. Федоров, к.ф.-м.н., ¹В.Э. Асминг, к.ф.-м.н., ¹И.С. Федоров, ²М.С. Пятунин ¹КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

До начала XXI в. геодинамический режим Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) характеризовался данными о сильных землетрясениях на границах литосферных плит, а шельфовая часть считалась асейсмичной. Такие представления складывались из ограниченных данных наблюдений в силу крайне редкой сети сейсмического мониторинга, которая позволяла регистрировать землетрясения с магнитудами от 4.5 и выше. В последние годы появились данные о новых угрозах для промышленной безопасности, создаваемые деструкционными процессами в криосфере [1], в первую очередь, связанные с деструкцией ледниковых покровов на арктических островах, а также взрывной дегазацией многолетнемерзлых пород на шельфе и суше.

Для повышения научного знания об опасных процессах и явлениях в высокоширотной Арктике в конце августа 2023 г., в рамках экспедиции Русского географического общества на территории базы «Омега» национального парка «Русская Арктика» на о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа, был установлен уникальный для данного района пункт геофизического мониторинга – сейсмоинфразвуковая группа ZEFI. Данный комплекс включает в себя площадную инфразвуковую антенну из трёх низкочастотных микрофонов и широкополосную сейсмическую станцию. Данные комплекса ZEFI были интегрированы в систему автоматической обработки сейсмологической информации в режиме, близком к реальному времени, ФИЦ ЕГС РАН [2].

Первые результаты обработки данных с комплекса ZEFI показывают отличные регистрационные способности нового инструмента геофизического мониторинга. Сейсмическая часть комплекса уверенно регистрирует события умеренных магнитуд (ML<3) из районов океанических хребтов Гаккеля (к северу) и Книповича (к западу) на эпицентральных расстояниях до 1000 км. На локальном уровне, вблизи комплекса, регистрируется огромное количество слабых сейсмических событий, ассоциируемых с динамикой местных ледников. Данный класс событий характеризуется специфическими волновыми формами и генерацией акустической эмиссии. Совместный анализ сейсмических и инфразвуковых данных позволяет с высокой точностью определять эпицентральные параметры и картировать области максимальной активности местных ледников.

Таким образом, первые результаты анализа данных свидетельствуют о значительном улучшении регистрационных способностей сети мониторинга в АЗРФ, что позволит детализировать представления о современной сейсмичности Арктического региона и лучше оценивать имеющиеся природные риски для его освоения.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А.* Развитие систем геофизического мониторинга в Арктике // Арктика: экология и экономика. – 2014. – № 2 (14). – С. 16–23. – EDN: SFVRFD

2. *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

О РЕЗУЛЬТАТАХ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВОГО МЕТОДА МОНИТОРИНГА ЛАВИННОЙ АКТИВНОСТИ В ХИБИНСКОМ ГОРНОМ МАССИВЕ В СЕЗОНЕ 2023–2024 ГГ.

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

Снежные лавины являются одним из наиболее опасных природных явлений в горной местности. С ростом популярности горного туризма и экстремальных зимних видов спорта растёт количество происшествий, связанных со снежными лавинами. Основным методом наблюдений за этими явлениями до сих пор остаётся визуальный контроль склонов, вследствие чего статистика наблюдений за ними, особенно в отдалённых горных районах, остаётся далеко не полной [1]. По аналогии с прогнозом землетрясений, прогноз возникновения снежных лавин является комплексной задачей, решить которую возможно лишь при наличии широких рядов наблюдений как за фактами схода снежных лавин, так и за метеорологическими параметрами. С этой целью в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН в течение последних пяти лет ведутся работы по созданию программноаппаратного комплекса мониторинга снежных лавин инфразвуковыми методами [2]. В рамках этих работ в Хибинском горном массиве с 2020 г. функционирует первый в России экспериментальный инфразвуковой комплекс мониторинга лавинной активности РАВБ [3]. В феврале 2024 г., в дополнение к существующему, был создан второй стационарный комплекс KLPR для мониторинга отдалённых туристических маршрутов у подножия горы Куэльпорр. В ходе экспериментов на нём отрабатывались возможности обеспечения автономного питания оборудования в течение зимнего сезона и вариант передачи данных по каналам спутниковой связи.

Таким образом, продолжается развитие методов дистанционного инфразвукового мониторинга лавинной активности в Хибинском горном массиве. Расширена зона покрытия за счёт создания новой инфразвуковой станции.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Викулина М.А.* Оценка лавинного риска в Хибинах // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 66–76. – DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-66-76. – EDN: FCPUYK

2. **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

3. *Федоров И.С., Федоров А.В., Асминг В.Э.* О регистрации схода снежных лавин геофизическими методами в Хибинском массиве // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2021. – Т. 24, № 1. – С. 69–79. – DOI: 10.21443/1560-9278-2021-24-1-69-79. – EDN: XWEAUW

БАЗА ДАННЫХ «МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ»

^{1,2}А.И. Филиппова, к.ф.-м.н., ^{2,3}И.С. Бурлаков, ^{2,3}А.С. Фомочкина, к.т.н. ¹ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк ²ИТПЗ РАН, г. Москва ³РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

В работе представлено описание базы механизмов очагов землетрясений Восточной Арктики [1], составленной нами по данным мировых сейсмологических агентств и литературным источникам. Всего в неё вошло 595 решений механизмов очагов (370 – по данным сейсмологических агентств и 225 – по литературным источникам) для 273 землетрясений с *M*=3.5–7.6, произошедших за период 1927–2022 гг. Для большинства событий приведены сведения о глубине очага, скалярном сейсмическом моменте и моментной магнитуде. Помимо самих очаговых параметров, в базу вошла информация о качестве приводимых решений, что во многих случаях облегчает их сопоставление. Для удобства пользователя база имеет графический интерфейс, позволяющий осуществлять поиск по различным атрибутам (координатам, времени, значениям магнитуды и глубины). Собранная нами база существенно превышает по объёму информации все имеющиеся на текущий момент времени аналоги, включая ISC-каталог. Она может использоваться для проведения сейсмотектонического анализа, расчётов напряжённо-деформированного состояния литосферы, оценки сейсмической опасности для всей Восточной Арктики или отдельных её регионов.

Составленная база механизмов очагов землетрясений Восточной Арктики размещена на сайте ИТПЗ РАН (https://www.itpz-ran.ru/ru/resultaty/maps-and-databases/east-arctic/). Предполагается, что в дальнейшем она будет пополняться авторами каждые пять лет. В случае обнаружения неточностей или по вопросам внесения дополнительных данных в базу просим обращаться к А.И. Филипповой (aleirk@mail.ru).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Филиппова А.И., Бурлаков И.С., Фомочкина А.С.* База данных механизмов очагов землетрясений Восточной Арктики // Физика Земли. – 2024. – № 5. (в печати)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ АЛЯСКИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2023 Г. ПО АМПЛИТУДНЫМ СПЕКТРАМ 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 Губкина И.М., г. Москва ³ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

Мы продолжаем серию работ, посвящённых исследованию сильных землетрясений на Аляске [1, 2]. В предложенной работе рассматривается землетрясение с Mw=7.2, которое произошло 16 июля 2023 г. в 106 км от города Сэнд-Поинт на юго-западном побережье полуострова. Для оценки очаговых параметров данного землетрясения использовались длиннопериодные записи поверхностных волн Лява и Релея в диапазоне периодов до 300 с. С помощью метода спектрально временного анализа записи были отфильтрованы и получены амплитудные спектры.

В приближении мгновенного точечного источника были оценены следующие параметры: скалярный сейсмический момент, фокальный механизм и глубина рассматриваемого события. В результате мы получили, что фокальный механизм исследуемого землетрясения представляет собой взброс, одна из нодальных плоскостей которого пологая и имеет юго-западное направление простирания, а вторая – крутопадающая с северо-восточным направлением простирания.

Затем, зафиксировав полученные на предыдущем этапе характеристики, мы перешли к построению модели очага в приближении сдвиговой дислокации эллиптической формы [3]. На этом этапе рассматривается возможность оценки следующих интегральных параметров: продолжительности процесса в очаге, длин большой и малой осей источника, скорости мгновенного центроида, угла между большой осью источника и осью простирания, угла между направлением движения мгновенного центроида и осью простирания.

Полученные результаты сравнивались с данными, которые предоставляют мировые геофизические службы (GCMT, GEOFON, NEIC и др.).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТПЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фомочкина А.С., Букчин Б.Г.** Сравнительный анализ Аляскинских землетрясений 2018 г. по записям поверхностных волн // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 76–84. – DOI: 10.35540/2686-7907.2020.1.07. – EDN: XGAVUS

2. *Bukchin B.G., Fomochkina A.S., Kossobokov V.G., Nekrasova A.K.* Characterizing the foreshock, main shock, and aftershock sequences of the recent major earthquakes in Southern Alaska, 2016–2018 // Frontiers in Earth Science. – 2020. – V. 8. – DOI: 10.3389/feart.2020.584659

3. *Bukchin B.* Determination of stress glut moments of total degree 2 from teleseismic surface wave amplitude spectra // Tectonophysics. – 1995. – V. 248, Iss. 3–4. – P. 185–191. – DOI: 10.1016/0040-1951(94)00271-A

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РАЙОНЕ СЕВЕРОМУЙСКОГО ТОННЕЛЯ БАМ В 1978–1993 ГГ.: ОЦИФРОВКА, ХРАНЕНИЕ, АНАЛИЗ

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

Для детального изучения сейсмичности Северомуйского района в связи со строительством протяжённого (15343 *м*) Северомуйского тоннеля Байкало-Амурской магистрали (БАМ) в 1977–1978 гг. была развёрнута локальная сеть (в пределах $R < 35 \ \kappa m$) из семи сейсмических станций с гальванометрической регистрацией и развёрткой записи 120 *мм/мин*. Большинство станций этой сети проработало до октября 1993 г., что позволило зарегистрировать более 16 тыс. землетрясений с энергетическим классом $K_P \ge 5$. Результаты обработки этих землетрясений, хранящиеся в печатном виде в архиве Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН, были переведены в цифровой вид и обработаны с использованием программы Нуроіnvers-2000 [1]. Расчёт показал хорошую локализацию большинства гипоцентров: для 94% землетрясений ошибка по времени $RMS \le 0.2 c$, для 77% – ошибка по глубине $ERZ \le 3 \ \kappa m$. Более точных наблюдений за сейсмичностью Северомуйского района до настоящего времени реализовано не было.

Для удобства хранения и анализа оцифрованных результатов сейсмологических наблюдений было разработано программное приложение с реляционной базой данных. База данных состоит из пяти связанных таблиц: информация о сейсмостанциях (код станции, географические координаты, высота над уровнем моря, период наблюдения, тип сейсмоприёмника); рассчитанные параметры землетрясений с ошибками определений (дата, время, географические координаты, глубина, энергетический класс и др.); результаты станционных обработок для каждого события (код станции, эпицентральное расстояние, азимут); данные по продольной и поперечной прямым сейсмическим волнам (моменты вступлений волн с весами, характеризующими точность определения момента вступления, невязки, вклад в обработку).

Выборки из базы данных реализованы по различным вариациям параметров, содержащихся в базе. Например, для отбора землетрясений можно задать период наблюдения, территорию, интервал глубин, интервал по энергетическому классу событий, ограничить выборку по количеству фаз, использованных в обработке, по величине ошибки времени и по ошибке определения глубины. В приложении реализовано формирование отчётов: каталога или бюллетеня землетрясений, исходного файла для релокализации гипоцентров, файлов для построения карты плотности эпицентров и разрезов по глубине с заданными параметрами и др.

Программная реализация может быть адаптирована для аналогичных сейсмологических данных других территорий. База данных может использоваться для построения математических, геофизических, геодинамических и пространственных моделей, для расчётов в инженерной сейсмологии, расчётов в строительстве при проектировании зданий и сооружений, в учебных и научных процессах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Klein F.W.* User's guide to HYPOINVERSE-2000, a FORTRAN program to solve for earthquake locations and magnitudes / USGS Open-File Report 02-171. – Menlo Park: US Geological Survey, 2002. – 123 c. – DOI: 10.3133/ofr02171

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА 3 АПРЕЛЯ 2023 Г. С *Мw*=6.5

Д.В. Чебров, к.ф.-м.н., С.А. Тихонов, к.ф.-м.н., И.Р. Абубакиров, к.ф.-м.н., Д.В. Дрознин, С.Я. Дрознина, Е.А. Матвеенко, к.ф.-м.н., С.В. Митюшкина, В.М. Павлов, к.ф.-м.н., А.А. Раевская, В.А. Салтыков, д.ф.-м.н., С.Л. Сенюков, к.г.-м.н., Ю.К. Серафимова КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В работе рассмотрены результаты исследований сильного сейсмического события с ML=6.6 ($K_{\rm S}$ =14.7, Mw=6.5), произошедшего 3 апреля 2023 г. в 03:06 UTC (03.04.2023 г. 15:06 по местному времени) у восточного побережья полуострова Камчатка в южной части Авачинского залива. Окончательная обработка проведена по данным 70 станций, находящихся на п-ове Камчатка, Дальнем Востоке России и территориях сопредельных государств. При определении параметров использованы 70 фаз *P*-волн и 21 фаза *S*-волн. Гипоцентр определён в ~47 км к юго-востоку от г. Вилючинска и в ~ 50 км к югу от Петропавловска-Камчатского на глубине ~105 км. Инструментальная интенсивность, автоматически определённая в режиме, близком к реальному времени, по данным 24 станций сильных движений Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН, составила от 3 до 7 баллов.

Землетрясение 03.04.2023 г. с Mw=6.5 сопровождалось афтершоковой последовательностью, достаточно типичной для подобного сейсмического процесса. Для анализа использованы каталоги землетрясений по состоянию на 01.07.2023 года. В очаговой области сильного землетрясения лоцировано ~160 событий, из них более 50% произошло в первые двое суток. Диапазон классов землетрясений роя $K_{\rm S}$ =4.9–12.4. Преобладающее число гипоцентров определено в интервале глубин от 80 до 100 км. Самое сильное землетрясение афтершоковой последовательности с $K_{\rm S}$ =12.4 зарегистрировано 11 апреля в 11:39.

Для 64 населённых пунктов, входящих в состав Камчатского края и Северо-Курильского района Сахалинской области (на о. Парамушир) собрана макросейсмическая информация о событии 3 апреля. Самые сильные сотрясения 5–6 баллов были зафиксированы на Мутновской геотермальной электростанции (МГеоЭС-1, Δ =40 км), в посёлке Рыбачий (Δ =41 км, входит в Вилючинский городской округ), в Вилючинске (Δ =47 км) и Петропавловске-Камчатском (Δ =50 км), вблизи излучины реки Авача (Δ =62 км).

По записям волновых форм 22 региональных широкополосных сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС РАН определён тензор сейсмического момента исследованного землетрясения. При его расчёте использована методика RSMT (Regional Seismic Moment Tensor) [1], позволяющая в приближении точечного источника определить, наряду с тензором, глубину *h* и длительность т процесса разрыва.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Павлов В.М., Абубакиров И.Р.* Алгоритм расчёта тензора сейсмического момента сильных землетрясений по региональным широкополосным сейсмограммам объёмных волн // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2012. – № 2, вып. 20. – С. 149–158. – EDN: PWRARN

СЕМЕЙСТВА ДЛИННОПЕРИОДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ВУЛКАНЕ ШИВЕЛУЧ В 2022–2023 ГГ.

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

10 апреля 2023 г. произошло сильнейшее за последние 60 лет извержение вулкана Шивелуч (Россия, полуостров Камчатка). Извержению предшествовала длительная сейсмическая подготовка, начавшаяся в 2022 году. Большая часть землетрясений относится к длиннопериодным и локализуется в районе выжимающегося экструзивного купола Молодого Шивелуча. Механизм этих землетрясений обусловлен переходными процессами, связанными с давлением, вызванным потоком вулканических газов с глубины [1, 2]. В некоторых случаях последовательности вулканических землетрясений группируются в семейства на основе сходства их волновой формы, что указывает на стабильный, неразрушающийся источник их генерации [3, 4]. Происхождение землетрясений со схожей волновой формой связывают с выжиманием и ростом экструзивного купола. По изменению в поведении семейств землетрясений предположительно можно оценивать меняющиеся условия в канале вулкана.

По волновым формам с сейсмической станции, установленной в районе вулкана Шивелуча, на основе взаимной корреляции сигналов, выделены семейства землетрясений, связанные с выжиманием экструзивного купола в кратере Молодого Шивелуча. Анализ семейств позволил предположить, что продолжительные семейства землетрясений (в которых время между первым и последним событием наибольшее) выделялись во время монотонного выжимания экструзии с постоянной скоростью, когда в канале устанавливалось постоянное давление. Выделение большого числа семейств перед кульминационной фазой извержения без доминирующей волновой формы может характеризовать среду в этот период как нестабильную. Ожидается, что ретроспективные исследования извержений вулкана Шивелуча позволят выявить особенности появления семейств землетрясений, что приблизит нас к более точному прогнозу времени кульминационной фазы извержений вулканов с вязкими лавами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (https://ckp-rf.ru/usu/507436/, http://www.gsras.ru/unu/).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chouet B.* Resonance of a fluid-driven crack: Radiation properties and implications for the source of long-period events and harmonic tremor // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1988. – V. 93. – P. 4375–4400. – DOI: 10.1029/JB093iB05p04375

2. *Neuberg J.W., Tuffen H., Collier L., Green D., Powell T., Dingwell D.* The trigger mechanism of low-frequency earthquakes on Montserrat // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2006. – V. 153, Iss. 1–2. – P. 37–50. – DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2005.08.008

3. *Thelen W., Malone S., West M.* Multiplets: Their behavior and utility at dacitic and andesitic volcanic centers // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2011. – V. 116, N B8. – P. 1–16. – DOI: 10.1029/2010JB007924

4. *Shakirova A., Chemarev A.* Multiplets of low-frequency earthquakes during the eruption of the Kizimen volcano in 2011–2012, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2023. – V. 438. – P. 1–11. – DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2023.107805

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛОТИНУ ИРКУТСКОЙ ГЭС

¹В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н., ²А.Н. Шагун ¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск ²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

По картам общего сейсмического районирования OCP-2015 [1] сейсмическая опасность территории г. Иркутска оценивается в 8 баллов по карте А и 9 баллов по картам В и С. С момента запуска первого агрегата Иркутской ГЭС (28.12.1956 г.) по 01.06.2024 г. в Иркутске произошли два землетрясения интенсивностью 6–7 баллов, одно – 6 баллов, три – 5–6 баллов и десять 5-балльных. Интересный факт: интенсивность сейсмических сотрясений в Иркутске при Гоби-Алтайском землетрясении 04.12.1957 г. с магнитудой 8.1, которое произошло на расстоянии около 900 км, составила 5 баллов, и «по-видимому, землетрясение дало редкий на практике положительный эффект – непосредственно после него произошло уплотнение достраивавшейся в то время земляной плотины Иркутской ГЭС (ИрГЭС), резко сократившее беспокоившую строителей фильтрацию воды сквозь плотину» [2].

Непосредственная оценка интенсивности землетрясения по параметрам колебаний на ИрГЭС стала возможной с началом инженерно-сейсмометрических наблюдений на плотине. Первая цифровая инженерно-сейсмометрическая станция (ИСС) была установлена в 1997 г. на бетонной плотине на отметке 456 м. Станция «Байкал-1» имела всего шесть каналов и 10-разрядный АЦП. Затем в 1998 г. на отметках 456 и 412 м секции № 3 была установлена 32-канальная инженерно-сейсмометрическая станция в 12-канальном варианте «Байкал-2». В настоящее время регистрация проводится двумя современными регистраторами «Байкал-8». Комплект аппаратуры состоит из 6-канального регистратора, трёхкомпонентного сейсмоприёмника (велосиметра) СК-1П и трёхкомпонентного пьезоэлектрического сейсмоприёмника (акселерометра) А1638.

За время работы ИСС на ИрГЭС накоплен большой фактический материал. Банк цифровых записей только местных землетрясений (до 200 км) составляет более 300, в т.ч. записи самых сильных землетрясений за последние 25 лет в Южном Прибайкалье: Южно-Байкальского 25.02.1999 г. с *Мw*=6.1, Култукского 27.08.2008 г. с *Mw*=6.3, Быстринского 21.09.2020 г. с *Mw*=5.6, Кударинского 09.12.2020 г. с *Mw*=5.5 и Хубсугульского 11.01.2021 г. с *Mw*=6.7. Интенсивность этих землетрясений по инструментальным данным в основании плотины (песчаники и алевролиты) в среднем на 1 балл меньше, чем на сейсмостанции «Иркутск» (подпочва – грунты 2-й категории).

Полученные данные позволили построить зависимости максимальных амплитуд ускорений колебаний грунта в основании плотины ИрГЭС от энергетического класса и эпицентрального расстояния, изменения спектров колебаний грунтов от энергии землетрясений, сделать прогноз колебаний бетонной плотины ИрГЭС при сильных землетрясениях и смоделировать акселерограммы максимальных сейсмических воздействий из наиболее опасных для гидроузла зон ВОЗ.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР-2015. Приложение А // СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. – М.: Стандартинформ, 2018. – С. 59–99. – URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736459.pdf

2. Голенецкий С.И. Землетрясения в Иркутске. – Иркутск: Имя, 1997. – С. 22.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНЕ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ ЛОКАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Д.Ю. Шулаков, Ф.Г. Верхоланцев, А.С. Зверева «ГИ УрО РАН», г. Пермь

Несмотря на то, что в целом территория Республики Беларусь в сейсмическом плане характеризуется очень низкой активностью, в районе Старобинского месторождения калийных солей (г. Солигорск) ежегодно регистрируется до нескольких десятков сейсмических событий с энергетическим классом $K \ge 6$ [1]. Эта сейсмичность обусловлена сочетанием сложного тектонического строения месторождения и интенсивной техногенной нагрузки на недра. Получение возможно полной информации о характеристиках сейсмического процесса и его обусловленности горными работами является важной задачей, решение которой позволит повысить безопасность разработки месторождения. Особенно актуальна эта проблема для района крупного Краснослободского разлома, поскольку планировалось его пересечение горными выработками. Наблюдения за сейсмической активностью в районе этого разлома были начаты в 2012 г., т.е. более чем за два года до начала ведения активных горных работ на данной территории [2].

В результате длительных мониторинговых наблюдений установлено, что проведение подготовительных и очистных работ привело к значительной активизации сейсмических процессов не только непосредственно в зоне Краснослободского разлома, но и на всей прилегающей к нему территории. Более того, техногенное воздействие оказывает весьма длительное воздействие на сейсмическую активность в породном массиве: несмотря на то, что фронт горных работ уже несколько лет как удалился от контролируемой территории, уровень сейсмической активности все ещё во много раз превышает «фоновый», наблюдавшийся до начала проходки выработок.

Анализ каталога сейсмических событий показал, что подавляющее их большинство характеризуется низкой магнитудой (ML < 0.5), но при этом два самых сильных имели магнитуду ML=2.5. Характерной особенностью регистрируемой сейсмичности является чёткое разделение очагов по глубине на две группы: первая – условно на уровне горных выработок и выше их, вторая – «глубинные», характеризующиеся глубиной гипоцентра более 1 км. Каждая из этих групп характеризуется своими особенностями пространственно-временной динамики и параметрами графика повторяемости, на основании которых можно с высокой степенью уверенности предположить, что первая группа событий является чисто техногенной («индуцированной»), а вторая представляет собой триггерную сейсмичность.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания, рег. номер НИОКТР: 124020500029-1).

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. – EDN: ZUTHPJ

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. – Sep 2020. – V. 2020. – P. 1–7. – DOI: 10.3997/2214-4609.202051057

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ НАЗВАНИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ

Краткое название организации	Полное название организации	Город	
Зарубежные организации			
ИГИС НАН РА	Институт геофизики и инженерной сейсмологии имени А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения	г. Ереван, г. Гюмри, Республика Армения	
ИГС МолдГУ	Институт геологии и сейсмологии Молдовского государственного университета	г. Кишинёв, Республика Молдова	
ИОНХ НАН РА	Институт общей и неорганической химии имени М.Г. Манвеляна	г. Ереван, Республика Армения	
ИС АН РУз	Институт сейсмологии имени Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан	г. Ташкент, Республика Узбекистан	
ТОО «ННЦСНиИ» МЧС РК	Товарищество с ограниченной ответственностью «Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан	г. Алма-Ата, Республика Казахстан	
РУПП «Гранит»	Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит»	г. Микашевичи, Республика Беларусь	
ЦГМ НАН Беларуси	Государственное учреждение «Центр геофизиче- ского мониторинга Национальной академии наук Беларуси»	г. Минск, Республика Беларусь	
Российские организаци	ии		
ФИЦ ЕГС РАН	Федеральное государственное бюджетное учреж- дение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Обнинск	
АСФ ФИЦ ЕГС РАН	Алтае-Саянский филиал Федерального государст- венного бюджетного учреждения науки Федераль- ного исследовательского центра «Единая геофизи- ческая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск	
БФ ФИЦ ЕГС РАН	Байкальский филиал Федерального государствен- ного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Иркутск	
БуФ ФИЦ ЕГС РАН ДФ ФИЦ ЕГС РАН	Бурятский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» Дагестанский филиал Федерального государствен- ного бюджетного учреждения науки Федерального	г. Улан-Удэ г. Махачкала	
	исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»		

Краткое название организации	Полное название организации	Город
КФ ФИЦ ЕГС РАН	Камчатский филиал Федерального государствен- ного 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 ис- следовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Апатиты
МФ ФИЦ ЕГС РАН	Магаданский филиал Федерального государствен- ного бюджетного учреждения науки Федераль- ного исследовательского центра «Единая геофизи- ческая служба Российской академии наук»	г. Магадан
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН	Сейсмологический филиал Федерального государ- ственного бюджетного учреждения науки Феде- рального исследовательского центра «Единая гео- физическая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск
СФ ФИЦ ЕГС РАН	Сахалинский филиал Федерального государствен- ного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Южно- Сахалинск
СОФ ФИЦ ЕГС РАН	Северо-Осетинский филиал Федерального государ- ственного бюджетного учреждения науки Феде- рального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Владикавказ
ЯФ ФИЦ ЕГС РАН	Якутский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Якутск
АН РС(Я)	Государственное учреждение «Академия наук Республики Саха (Якутия)»	г. Якутск
«ГИ УрО РАН»	«Горный институт Уральского отделения Россий- ской академии наук» – филиал Федерального госу- дарственного бюджетного учреждения науки Перм- ского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук	г. Пермь
ГИН СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук	г. Улан-Удэ
ГО «Борок» ИФЗ РАН	Геофизическая обсерватория «Борок» Федераль- ного государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук	пос. Борок, Ярославская обл.
ГЦ ГМ	Главный центр геофизического мониторинга	г. Москва
ИГАБМ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учре- ждение науки Институт геологии алмаза и благо- родных металлов Сибирского отделения Россий- ской академии наук	г. Якутск
ИГМ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учре- ждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Россий- ской академии наук	г. Новосибирск

Краткое название организации	Полное название организации	Город
ИДГ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреж- дение науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук	г. Москва
ИЗК СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учре- ждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук	г. Иркутск
ИЗМИРАН	Федеральное государственное бюджетное учре- ждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук	г. Москва, г. Троицк
ИНГГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреж- дение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отде- ления Российской академии наук	г. Новосибирск
ИО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук	г. Москва
ИТПЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреж- дение науки Институт теории прогноза землетря- сений и математической геофизики Российской академии наук	г. Москва
ИФЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреж- дение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук	г. Москва
Кировский филиал АО «Апатит»	Кировский филиал акционерного общества «Апатит» группы «ФосАгро»	г. Кировск
МГУ	Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образова- ния «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»	г. Москва
ИЯИО	Объединенный институт ядерных исследований	г. Дубна
ОФИЦ УрО РАН	Федеральное государственное бюджетное учрежде- ние науки Оренбургский федеральный исследова- тельский центр Уральского отделения Российской академии наук	г. Оренбург
РГУ нефти и газа (НИУ) имени Губкина И.М.	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени Губкина И.М.»	г. Москва
СВКНИИ ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учрежде- ние науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Рос- сийской академии наук	г. Магадан
СВФУ	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»	г. Якутск

Краткое название организации	Полное название организации	Город
СПбГУ	Федеральное государственное бюджетное образо- вательное учреждение высшего профессиональ- ного образования «Санкт-Петербургский государ- ственный университет»	г. Санкт- Петербург
СПбФ ИЗМИРАН	Санкт-Петербургский филиал Федерального госу- дарственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и рас- пространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Рос- сийской Академии наук	г. Санкт- Петербург
ТИ (ф) СВФУ	Технический институт (филиал) федерального госу- дарственного автономного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри	г. Нерюнгри
ФБУ «НТЦ ЯРБ»	Федеральное бюджетное учреждение «Научно- технический центр по ядерной и радиационной безопасности»	г. Москва
ФГБОУ ВО «ВГУ»	Федеральное государственное бюджетное образо- вательное учреждение высшего образования «Во- ронежский государственный университет»	г. Воронеж
ФГБОУ ВО «СВГУ»	Федеральное государственное бюджетное образо- вательное учреждение высшего образования «Се- веро-Восточный государственный университет»	г. Магадан
ФГБОУ ВО «ТОГУ»	Федеральное государственное бюджетное образо- вательное учреждение высшего образования «Ти- хоокеанский государственный университет»	г. Хабаровск
ФГБУ «ВНИГНИ»	Федеральное государственное бюджетное учре- ждение «Всероссийский научно-исследователь- ский геологический нефтяной институт»	г. Москва
ФГБУН «КрАО РАН»	Федеральное государственное бюджетное учре- ждение науки «Крымская астрофизическая обсер- ватория РАН»	г. Ялта
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреж- дение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук	г. Архангельск

Приложение 2

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абубакиров Искандер Радиевич

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

Адилов Зарахман Ашуралиевич

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

Акбашев Ринат Рафикович канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.

канд. физ.-мат. наук, науч. согр 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. отдела

MФ ФИЦ ЕГС РАН, r. Maraдaн evgeniya@memsd.ru

Антоновская Галина Николаевна

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

Арапов Виктор Владимирович

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

Аронов Аркадий Гесселевич

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

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

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

Артемова Анна Игоревна

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

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

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

Астаскевич Александра Игоревна инженер ИФЗ РАН, г. Москва sashajedi@ifz.ru

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

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

Багаева Софья Сергеевна нач. сектора СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ

sonybag@yandex.ru

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

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

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

Бедняков Иван Вадимович

мл. науч. сотр. ОИЯИ, г. Дубна bednyakovi@gmail.com

Белов Владимир Сергеевич науч. сотр. отдела геоэкологии

ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург n_mu@mail.ru

Беляева Виктория Александровна мл. науч. сотр. ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь bialiayeva@cgm.by

Болдина Светлана Васильевна

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

Будилова Екатерина Андреевна

инженер КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск Камчатский budilova@emsd.ru

Бунятов Карен Степанович зам. нач. отдела ОИЯИ, г. Дубна bunyatovks@gmail.com

Бурлаков Илья Сергеевич

лаборант-исследователь ИТПЗ РАН; студент РГУ нефти и газа (НИУ) имени Губкина И.М., г. Москва ilyabrelik@gmail.com

Бурмин Валерий Юрьевич

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

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

Варлашова Юлия Викторовна вед. инженер «ГИ УрО РАН», г. Пермь ula17@mail.ru

Верхоланцев Александр Викторович и.о. науч. сотр. «ГИ УрО РАН»,

г. Пермь vercholancev@gmail.com

Верхоланцев Филипп Геннадьевич

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

Виноградов Юрий Анатольевич

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

Владимирова Ирина Сергеевна

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

Волосов Сергей Георгиевич ст. науч. сотр.

ИДГ РАН, г. Москва volosovc@mail.ru

Вольвач Александр Евгеньевич

д-р физ.-мат. наук, зам. директора ФГБУН «КрАО РАН», г. Ялта

volvach@craocrimea.ru

Вольвач Лариса Николаевна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «КрАО РАН», г. Ялта larisa.volvach@crao.ru

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

Габсатарова Ирина Петровна

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

Гавриленко Юлия Анатольевна инженер-исследователь МФ ФИЦ ЕГС РАН,

г. Магадан y.gavrilenko@memsd.ru

Гаврилкович Эдуард Геннадьевич ген. директор РУПП «Гранит»,

г. Микашевичи, Беларусь info@granit.by

Гайдай Наталия Константиновна

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

Галеева Эльвира Рафисовна аспирант, отдел геоэкологии

ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург n_mu@mail.ru

Галёва Наталья Александровна науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Galyova@gs.sbras.ru Галин Айнур Жамилович

зав. сектором ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск galin@gsras.ru

Гилёва Надежда Алексеевна нач. отдела БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск nagileva@crust.irk.ru

Гирина Людмила Владимировна зав. г/о «Нарочь» ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь girina@cgm.by

Глаголев Владимир Викторович д-р физ.-мат. наук, нач. отдела ОИЯИ, г. Дубна

vlglagolev@jinr.ru Гладышев Егор Андреевич науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

gladyshev@gs.nsc.ru Горожанцев Сергей Владимирович канд. геол.-мин. наук, науч. редактор

СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ sgor@gsras.ru

Гриб Николай Николаевич

д-р техн. наук, профессор ТИ (ф) СВФУ, г. Нерюнгри; вед. науч. сотр. ФГБОУ ВО «ТОГУ», г. Хабаровск grib-n-n@yandex.ru

Гриб Галина Владиславовна

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб. ТИ (ф) СВФУ, г. Нерюнгри n-grib@list.ru

Громыко Павел Владимирович науч. сотр.

СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск gromykopv@mail.ru

Гульельми Анатолий Владимирович д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. ИФЗ РАН, г. Москва guglielmi@mail.ru

Дежнев Виктор Эдуардович СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск Viktordezhnev2001@gmail.com

Дмитриева Изольда Юрьевна нач. сектора СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ iza_ka@mail.ru

Дрознин Дмитрий Валерьевич ст. науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский ddv@emsd.ru

Дрознина Светлана Ярославовна науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский sva07@emsd.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.sbras.ru

Дягилев Руслан Андреевич канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр., ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск dra@gsras.ru

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

Еманов Александр Федорович

д-р техн. наук, гл. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск Emanov@gs.nsc.ru

Ершов Ренат Альбертович

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

Ефременко Марина Алексеевна канд. геол.-мин. наук, науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск 2880@mail.ru

Ешкунова Ирина Федоровна

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

Завьялов Алексей Дмитриевич

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

Зароченцев Андрей Константинович науч. сотр. СПбГУ, г. Санкт-Петербург a.zarochentsev@spbu.ru

Захаревич Ольга Васильевна геофизик I кат. ЦГМ НАН Беларуси,

г. Минск, Беларусь zaharevich@cgm.by

Зверева Анастасия Сергеевна

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

Зотов Олег Дмитриевич канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИФЗ РАН, г. Москва ozotov@inbox.ru

Исмагилов Валерий Сарварович канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург ivs@izmiran.spb.ru

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

Карпенко Лариса Ивановна

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

Киреенко Павел Сергеевич

начальник ГЦ ГМ, г. Москва pavel.kireenko@mail.ru

Китов Иван Олегович

д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва ikitov@mail.ru

Клайн Борис Ицикович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ГО «Борок» ИФЗ РАН пос. Борок Ярославской обл. klb314@mail.ru

Клемешов Юлий Викторович инженер ОИЯИ, г. Дубна klemeshov@jinr.ru

Клянчин Андрей Игоревич инженер-исследователь ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск astrogeolog@mail.ru

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

Коган Лев Петрович канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. ФГБУН «КрАО РАН», г. Ялта

l.kogan@list.ru Кодымов Алексей Александрович зав. отделом ЦГМ НАН Беларуси,

г. Минск, Беларусь admin@cgm.by

Коковкин Иван Васильевич

мл. науч. сотр. СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск kokovkin.i.v@gmail.com

i-i-kol@yandex.ru

Колодезников Игорь Иннокентьевич д-р геол.-мин. наук, профессор, советник Президента АН РС(Я), г. Якутск

Константиновская Наталия Львовна

ст. науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва konstnat@list.ru

Конечная Яна Викторовна

канд. техн. наук, ст. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск; ст. науч. сотр. ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск yanakon@mail.ru

Копничев Юрий Федорович

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. ИФЗ РАН, г. Москва yufk777@mail.ru

Копылова Галина Николаевна

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

Копытенко Юрий Анатольевич

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург magnetYAK@gmail.com

Корабельщиков Дмитрий Геннадьевич гл. инженер АСФ ФИЦ ЕГС РАН,

г. Новосибирск d20@mail.ru

Королева Татьяна Юрьевна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск tanchik18@yandex.ru

Королецки Людмила Николаевна

вед. инженер ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск korol@gsras.ru

Косая Вера Викторовна инженер-геофизик 1 кат.

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, vkos@gsras.ru

Косякина Елизавета Эдуардовна мл. науч. сотр. СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,

г. Новосибирск lilavati21@mail.ru

Красноперов Алексей Владимирович канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

ОИЯИ, г. Дубна Alexei.Krasnoperov@jinr.ru

Кузькин Алексей Михайлович

ст. инженер ОИЯИ, г. Дубна kuzkin@jinr.ru

Куляндина Альбина Семеновна

аспирант СВФУ; вед. инженер-геофизик ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск albineku@gmail.com

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

Левина Валерия Ивановна

науч. редактор ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск vlr.levina@gmail.com

Левченко Алексей Анатольевич инженер

ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь matemet772@gmail.com

Лисейкин Алексей Владимирович

канд. геол.-мин. наук, директор СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск avl@gs.sbras.ru

Лисунов Евгений Витальевич мл. науч. сотр.

ФИЦ ЕГС РАН, г. Владивосток lisunov.evgeniy@gmail.com

Литовченко Ирина Николаевна вед. науч. сотр.

ННЦСНИ МЧС РК, г. Алма-Ата, Казахстан litovira@rambler.ru

Лободенко Иван Юрьевич

канд. геол.-мин. наук, нач. отдела ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва lobodenko@secnrs.ru

Лопатин Герман Антонович СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,

г. Новосибирск germanigra01@gmail.com Лютикова Вероника Сергеевна мл. науч. сотр. ННЦСНИ МЧС РК, г. Алма-Ата, Казахстан nikki.valo16@gmail.com

Ляблин Михаил Васильевич канд. физ.-мат. наук, нач. сектора ОИЯИ, г. Дубна lyablin@jinr.ru

Магомедов Хаскил Джарулаевич директор ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Maxaчкала haskil@dbgsras.ru

Макаров Александр Александрович

вед. инженер ИГАБМ СО РАН; вед. инженер-геофизик ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск makarov.2a@yandex.ru

Макаров Евгений Олегович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский ice@emsds.ru

Мартинович Юлия Витальевна

мл. науч. сотр. ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь martsinovich@cgm.by

Матвеенко 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

Милехина Александра Михайловна мл. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск amilekhina@gsras.ru

Митюшкина Светлана Владимировна науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский mitik@emsd.ru

Михайлова Яна Александровна науч. сотр. ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

essm.ras@gmail.com

Молокова Алисия Павловна

студент МГУ; мл. науч. сотр. ИТПЗ РАН, г. Москва molokovaap@my.msu.ru

Морару Константин Ефимович

д-р геол.-мин. наук, зав. лаб. ИГС МолдГУ, г. Кишинёв, Молдова cmoraru@yahoo.com

Морозов Алексей Николаевич

канд. техн. наук, вед. науч. сотр. ИФЗ РАН, г. Москва morozovalexey@yandex.ru

Морозова Екатерина Руслановна

мл. науч. сотр. ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск morozova_er@fciarctic.ru

Моторин Александр Юрьевич

аспирант, мл. науч. сотр. КоФ ФИЦ ЕГС РАН,

г. Апатиты; вед. геофизик КФ АО «Апатит», г. Кировск ayumotorin@gmail.com

Мохова Виктория Вадимовна аспирант, преподаватель

ФГБОУ ВО «ВГУ», r. Воронеж viktorijaperevoznikova@rambler.ru

Мурыськин Алексей Сергеевич инженер

«ГИ УрО РАН», г. Пермь muriskinas@gmail.com

Надёжка Людмила Ивановна

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб. ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж nadezhka@ssm.vsu.ru

Нестеренко Максим Юрьевич

д-р геол.-мин. наук, доцент, зав. отделом геоэкологии ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург n_mu@mail.ru

Ни Роман Вячеславович

инженер ОИЯИ, г. Дубна romanni@jinr.ru

Новиков Игорь Станиславович

д-р геол.-мин. наук, вед. науч. сотр. ИГМ СО РАН, г. Новосибирск Novikov@igm.nsc.ru

Орловский Вячеслав Чеславович

гл. технолог – нач. техн. отдела РУПП «Гранит», г. Микашевичи, Беларусь to@granit.by

Павлов Виктор Михайлович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский pvm@emsd.ru

Папкова Алина Александровна

нач. сектора БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск alalp@inbox.ru

Пашаян Ромела Артаваздовна канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр. ИГИС НАН РА, г. Ереван, Армения romellapashayan@sci.am

Петрищев Максим Сергеевич канд. техн. наук, вед. науч. сотр. СПбФ ИЗМИРАН,

г. Санкт-Петербург petrischev@gmail.com

Петрова Наталия Владимировна

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

Петросян Гоарик Размиковна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИФЗ РАН, г. Москва gohar@list.ru

Пивоваров Роман Сергеевич

мл. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск Q5000@mail.ru

Пивоваров Сергей Павлович

науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск serg@geophys.vsu.ru

Плужников Андрей Андреевич

инженер ОИЯИ, г. Дубна plujenek@gmail.com

Поляков Константин Дмитриевич

инженер ОИЯИ, г. Дубна kpolyakov@jinr.ru

Полянский Павел Олегович

канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск Polyansky@gs.sbras.ru

Пономарева Наталия Лаврентьевна

науч. сотр. – рук. с/ст «Махачкала» ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

natalymak@yandex.ru

Предеин Пётр Алексеевич канд. геол.-мин. наук, науч. сотр. ГИН СО РАН; инженер БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ petr@bufgs.ru

Пятунин Михаил Сергеевич

мл. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск mishkas30@yandex.ru

Радзиминович Ян Борисович

канд. геол.-мин. наук, нач. сектора БФ ФИЦ ЕГС 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

мл. науч. сотр. ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь raetskaya@cgm.by

Рыбушкин Александр Юрьевич зам. нач. отдела АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск Expas-sib@yandex.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, вед. науч. сотр. ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск Assalnikov@mail.ru

Санжиева Дарима Пурба-Доржиевна

инженер БуФ ФИЦ ЕГС РАН; мл. науч. сотр. ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ gindarima@mail.ru

Санина Ирина Альфатовна

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва iasanina51@gmail.com

Сафронич Игорь Николаевич

вед. инженер ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж igor@geophys.vsu.ru

Саяпина Анна Анатольевна

директор СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ a_sayapina@gsras.ru

Сдельникова Ирина Александровна канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск sdelnikova@gsras.ru

Селезнев Виктор Сергеевич д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр. СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск; ИГАБМ СО РАН, г. Якутск svs0428@mail.ru

Селиванова Елена Аркадьевна вед. инженер ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск seliv@gsras.ru

Семенов Александр Евгеньевич мл. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН,

г. Обнинск;
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж alexander.semenow@gmail.com

Семибаламут Владимир Михайлович канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск wladim28@yandex.ru

Сенюков Сергей Львович канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский ssl@emsd.ru

Серафимова Юлия Константиновна

ст. науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский yulka@emsd.ru

Сергушин Павел Анатольевич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр. СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург pavel.sergushin@gmail.com

Серёжников Николай Александрович науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск serezhnikov@gs.nsc.ru

Сивохо Артём Александрович инженер-системотехник 2 кат.

ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь asivokho@cgm.by

Силкин Константин Юрьевич канд. геол.-мин. наук, науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск const.silkin@ya.ru

Скоркина Анна Александровна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИТПЗ РАН, г. Москва anna@mitp.ru

Соколов Александр Николаевич инженер I кат. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск sokolovan@gsras.ru

Соколова Елена Юрьевна

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ФГБУ «ВНИГНИ»; вед. науч. сотр. ИФЗ РАН, г. Москва sokol_l@mail.ru

Соколова Инна Николаевна д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск SokolovaIN@gsras.ru

Соловьев Виктор Михайлович канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск solov@gs.sbras.ru

Терещенко Ксения Валерьевна мл. науч. сотр. ЦГМ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь tsiareshchenko@cgm.by
Титков Николай Николаевич

ст. науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, nik@emsd.ru

Тихонов Сергей Александрович канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский tsa@emsd.ru

Товмасян Кристина Гагиковна ст. инженер

ИГИС НАН РА, г. Ереван, Армения kristina.tovmasyan.2020@mail.ru

Тубанов Цырен Алексеевич

канд. геол.-мин. наук, директор БуФ ФИЦ ЕГС РАН; вед. науч. сотр. ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ geos@ginst.ru

Туктаров Рустам Мингулович

вед. инженер ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск; аспирант ИЗК СО РАН, г. Иркутск Tuktarov.rust@mail.ru

Фатеев Александр Владимирович канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН; ст. науч. сотр. 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

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

Фролов Михаил Васильевич

инженер-исследователь АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск M.frolov@g.nsu.ru

Хасанов Ибрагим Мубаракович

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр. СВКНИИ ДВО РАН; доцент кафедры геологии и горного дела ФГБОУ ВО «СВГУ»; г. Магадан aumaglan@yandex.ru

Хотинская Арина Николаевна техник ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск arinakhotinskaya@mail.ru

Хритова Мария Анатольевна канд. техн. наук, нач. сектора БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск hritova@crust.irk.ru

Чебров Данила Викторович канд. физ.-мат. наук, директор КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский danila@emsd.ru

Чемарёв Андрей Сергеевич науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский andrew@emsd.ru

Чечельницкий Владимир Васильевич канд. геол.-мин. наук, зам. директора БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

chechel@crust.irk.ru Шагун Артем Николаевич

мл. науч. сотр. ИЗК СО РАН, г. Иркутск shagun@crust.irk.ru

Шакирова Александра Альбертовна канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр. КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский shaki@emsd.ru

Шеболтасов Алексей Геннадьевич

мл. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск Lexsheb@mail.ru

Шевкунова Елена Викторовна

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

Шенмайер Анастасия Евгеньевна

мл. науч. сотр. АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск Shennastya@mail.ru

Шибаев Сергей Валентинович

директор ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск Sshib58@gmail.com

Шулаков Денис Юрьевич

канд. техн. наук, зав. лаб. «ГИ УрО РАН»; науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь shulakov@mi-perm.ru

Щевьёва Надежда Сергеевна

инженер ИО РАН, г. Москва nadezda.shchevyeva@yandex.ru

Юсупов Валижон Рустамович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИС АН РУЗ, г. Ташкент, Узбекистан valijon.yusupov@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.А. Виноградов. Состояние системы сейсмологических наблюдений в России и перспективы её развития	3
З.А. Адилов. Проявление эффекта синергии в сейсмичности	4
И.М. Алёшин. ГСЗ или функция приёмника? Нужное подчеркнуть!	5
Е.И. Алёшина, Л.И. Карпенко, Ю.А. Гавриленко. Сейсмичность	
Омсукчанского района	6
А.Г. Аронов, Г.А. Аронов, И.В. Бедняков, К.С. Бунятов, В.В. Глаголев,	
Ю.В. Клемешов, А.В. Красноперов, А.М. Кузькин, А.А. Курсевич,	
А.А. Левченко, М.В. Ляблин, Р.В. Ни, А.А. Плужников, К.Д. Поляков.	
Экспериментальные наблюдения на базе инклинометра МПЛИ в геофизической	
обсерватории «Нарочь»	7
А.Г. Аронов, Т.И. Аронова, О.В. Захаревич, Ю.В. Мартинович, О.С. Раецкая,	
К.В. Терещенко. Сейсмологические наблюдения в районе Земли Эндерби	0
в Антарктиде	8
А.Г. Аронов, В.А. Беляева, Э.Г. Гаврилкович, Ю.В. Мартинович, В.Ч. Орловский,	0
К.В. Герещенко. Сеисмологическии мониторинг на гранитном карьере в Беларуси	9
Г.А. Аронов. Геофизический мониторинг в Беларуси. Состояние и перспективы	10
В.Э. Асминг, А.В. Федоров. Обработка инфразвуковых данных в системе	
автоматического детектирования и локации PSDL	11
А.И. Астаскевич, И.М. Алёшин, М.Ю. Нестеренко. Параметры земной коры	
Западного Оренбуржья по методу Жу и Канамори	12
В.В. Атрохин, С.В. Курткин, М.А. Бахтин. Сейсмологический мониторинг района	
гидротехнических сооружений Колымской ГЭС	13
М.М. Ахмедова, Н.Л. Пономарева. Слабая сейсмичность в Южном Дагестане	
в первой половине 2024 г	14
С.В. Баранов, А.Ю. Моторин. Связь области афтершоковой активности	15
с распределением первых афтершоков на примере лиоинского массива	15
А.А. Бах, А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Ю.А. Виноградов, А.І. Шеоолтасов,	16
А.Б. Дураченко. Газвитие систем мониторинга здании и сооружении	10
В.А. Беляева, А.І. Аронов. Локация местных сеисмических сооытии в программиом обеспецении SeisComP	17
	1/
Е.А. Будилова, Е.А. Матвеенко. Программа для расчета спектральной плотности	18
	10
В.Ю. Бурмин, Г.Р. Петросян. Сравнительный анализ данных каталога ISC	10
и результатов переопределения параметров землетрясении туркменистана	19
А.В. Верхоланцев. Анализ отклонении зарегистрированных скоростеи смещении от прогнозной зависимости при взрывах на карьере по данным мониторинга	20
Ф.Г. Верхоланцев, Д.Ю. Шулаков, Ю.В. Варлашова. Ощутимое землетрясение	
8 августа 2023 г., I ₀ =5.4, и сейсмически активная зона «Таборы» (Пермский край)	21
А.Е. Вольвач, А.Г. Аронов, Г.А. Аронов, Л.П. Коган, Л.Н. Вольвач. Изучение	
землетрясений в Турции и Хорватии по данным магнитовариационных станций	
Беларуси и Крыма	22
Ю.В. Габсатаров, И.С. Владимирова, Н.Н. Титков, Н.С. Щевьёва. Применения	
методов машинного обучения при анализе данных спутниковой геодезии	23
И.П. Габсатарова, Е.А. Селиванова, А.С. Зверева. Шкала локальных магнитуд <i>ML</i>	
для землетрясений Северного Кавказа	24

H.К. Гайдай, И.М. Хасанов. Перспективы развития минерально-сырьевой базы Танзании: от сейсмических исследований к устойчивому освоению	25
А.Ж. Галин. Использование современных технологий передачи данных на сейсмической станции «Новолазаревская»	26
Н.А. Гилёва, В.И. Мельникова, Я.Б. Радзиминович, А.И. Филиппова. Сейсмические воздействия на Байкало-Олёкминский участок трассы БАМ	27
Е.А. Гладышев, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев, В.М. Семибаламут, Е.В. Шевкунова, Н.А. Серёжников, А.И. Артемова. Сейсмичность Новосибирской области и воздействия на плотину Новосибирской ГЭС	28
Н.Н. Гриб, Г.В. Гриб, И.И. Колодезников. Уточнение исходной сейсмичности при реконструкции горно-обогатительного комбината «Гросс»	29
П.В. Громыко. О способе мониторинга технического состояния плотин и оборудования гидроэлектростанций Сулакского каскада ГЭС	30
Р.А. Дягилев. Новые инструменты для разработки локальной шкалы магнитуд	31
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, И.Ф. Ешкунова, А.В. Фатеев, Е.В. Шевкунова, Е.А. Кобелева, Е.А. Гладышев, В.В. Арапов. Структура сейсмического процесса в Прихубсугулье	32
А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Шевкунова, Е.А. Гладышев, И.С. Новиков, П.О. Полянский, В.В. Арапов, М.В. Фролов, А.Ю. Рыбушкин. Структурные изменения в сейсмичности Алтая	33
М.А. Ефременко, С.П. Пивоваров, Р.С. Пивоваров. Сейсмическая станция «Галичья гора» в задачах мониторинга местных сейсмических событий на территории Воронежского кристациического массива	34
М.А. Ефременко, А.Е. Семенов, В.В. Мохова. Спектральные особенности волновых форм промышленных взрывов	35
А.Д. Завьялов, А.В. Гульельми, О.Д. Зотов, Б.И. Клайн. Главный удар – эпоха Омори – бифуркация очага – этапы эволюции очаговой зоны	36
А.С. Зверева, А.А. Скоркина. Скейлинг очаговых спектров землетрясений Северного Кавказа	37
П.С. Киреенко, А.М. Милехина. Предложения по изменению нормативно-правовой базы, необходимой для функционирования ФССН и прогноза землетрясений	38
А.И. Клянчин, А.С. Зверева. Ощутимые землетрясения 2024 г. в Краснодарском крае	39
Е.А. Кобелева, В.В. Чечельницкий. Оценка сейсмических воздействий при забивании шпунтов вибропогружателем Delta VM760R	40
Я.В. Конечная, Г.Н. Антоновская, Е.Р. Морозова. Сравнительный анализ критериев распознавания техногенных событий на станциях AMDE1 и KOLBA	41
Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Кавказа: возможная подготовка сильного землетрясения	42
Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова. Неоднородности поля поглощения <i>S</i> -волн в литосфере Северного Кавказа	43
Г.Н. Копылова, С.В. Болдина. Сейсмогидрогеодинамические эффекты в системе геофизического мониторинга и прогнозирования землетрясений	44
Т.Ю. Королева, А.К. Зароченцев. Опыт адаптации программ, используемых в шумовой томографии, для высокопроизводительного кластера на примере данных по Кавказу	45
Л.Н. Королецки, И.П. Габсатарова, В.В. Косая. Сейсмические события в Кумо-Манычском прогибе на юге Калмыкии	46
А.С. Куляндина, А.И. Филиппова, Е.Ю. Соколова. Строение очаговой области Хастахского землетрясения (Северо-Западная Якутия) по данным потенциальных	
полей: предварительные результаты	47

 А.А. Курсевич, А.А. Левченко, В.А. Беляева, Л.В. Гирина, А.А. Кодымов, А.А. Сивохо. Регистрация сейсмических событий различными типами сейсмометрического оборудования 	48
А.В. Лисейкин, В.С. Селезнев, Е.Э. Косякина. Обнаружение разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений по малоамплитудным	40
сейсмическим сигналам	49
Е.В. Лисунов, С.В. Горожанцев. О цунамигенной обстановке в Японском море	50
И.Н. Литовченко, В.С. Лютикова. Принцип распознавания роёв землетрясений	51
И.Ю. Лободенко, Л.М. Фихиева. Современные нормативные требования по учёту сейсмических и геодинамических воздействий на объекты использования атомной энергии	52
Х.Д. Магомедов. Особенности сейсмичности в районе Чиркейского водохранилища	53
А.А. Макаров, В.С. Селезнев, С.В. Шибаев. Некорректная работа систем регулирования генерирующего оборудования Вилюйских ГЭС 1 и 2 по записям сейсмической станции «Чернышевский»	54
Е.А. Матвеенко, Е.А. Будилова. Развитие подсистемы доступа к данным ЕИССД Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН в 2024 г.	55
Я.А. Михайлова, Е.Р. Морозова. Сейсмичность арктических и приарктических территорий Архангельской области	56
А.П. Молокова, А.А. Скоркина. Оценка моментных магнитуд для землетрясений Ключевской группы вулканов	57
К.Е. Морару. О реакции подземных вод Молдовы на Вранчские сильные землетрясения	58
А.Н. Морозов, Н.В. Ваганова. Сейсмичность западного сектора Российской Арктики за инструментальный период наблюдений	59
A.C. Мурыськин. Определение параметров распространения сейсмических волн для территории рудника ОАО «Беларуськалий»	60
М.Ю. Нестеренко, В.С. Белов, Э.Р. Галеева. Влияние промышленных взрывов на сейсмичность Восточного Оренбуржья	61
А.А. Папкова, Н.А. Гилёва, Я.Б. Радзиминович. Сильные землетрясения Прибайкалья и Забайкалья (M≥5.0) в 2019–2023 гг	62
Р.А. Пашаян, Д.К. Карапетян, Л.В. Арутюнян, К.Г. Товмасян. Вариации современных движений и деформаций земной коры территории Армении по данным МГГН	63
М.С. Петрищев, Ю.А. Копытенко, П.А. Сергушин, В.С. Исмагилов, В.Р. Юсупов. Исследование изменения состояния среды по электромагнитному отклику от сейсмических событий	64
H.B. Петрова, В.И. Левина. Межмагнитудные связи для создания сводного каталога землетрясений Карпатского региона	65
Р.С. Пивоваров, С.П. Пивоваров. Об эффективности работы сейсмической станции «Сторожевое» в области глобального сейсмического мониторинга	66
С.П. Пивоваров, М.А. Ефременко, Р.С. Пивоваров. Об идентификации местных сейсмических событий на территории Воронежского кристаллического массива	67
П.О. Полянский, А.Ф. Еманов. Природа преломляющих границ в верхах коры складчатых областей и осадочных бассейнов	68
П.А. Предеин, Ц.А. Тубанов, В.В. Чечельницкий. Скалярный сейсмический момент очагов землетрясений центральной части Байкальского рифта	69
А.А. Раевская. Оперативное определение тензоров момента двойного диполя землетрясений Камчатки и Командорских островов в 2023 г. и первой по растиче 2024 г.	70
половине 2024 Г.	/0

В.А. Салтыков. Мониторинг сейсмического затишья по методике СОУС'09 (на примере землетрясения 13.06.2024 г., <i>ML</i> =5.8, Камчатка)	71
В.А. Салтыков, А.А. Шакирова. Отражение активности Ключевского вулкана в статистической оценке уровня сейсмичности СОУС'09 в 2023 году	72
Д.ПД. Санжиева, Ц.А. Тубанов, Е.А. Кобелева. Параметрическая оценка уровня сейсмичности Байкальского региона	73
И.А. Санина, И.О. Китов, Н.Л. Константиновская, С.Г. Волосов. Малоапертурные группы в сейсмологических исследованиях на Восточно-Европейской платформе. Первые 20 лет	74
А.А. Саяпина, И.Ю. Дмитриева, С.С. Багаева. Ощутимое Чиколинское землетрясение 02.06.2024 г. с <i>К</i> _P =10.9, <i>I</i> =4–5 баллов	75
И.А. Сдельникова, А.А. Саяпина, Ю.В. Габсатаров, А.Н. Хотинская. О расширении сети ГНСС-станций ФИЦ ЕГС РАН на территории Республики Северная Осетия–Алания	76
В.С. Селезнев, И.В. Коковкин, В.Э. Дежнев, Г.А. Лопатин. Анализ собственных частот Саяно-Шушенской ГЭС для диагностики раскрытия трещины	77
В.С. Селезнев, А.В. Лисейкин, И.В. Коковкин. Дистанционный мониторинг	78
А.Е. Семенов, И.Н. Сафронич, Л.И. Надёжка. Зонирование территории Центрально-Чернозёмного экономического района по степени сейсмических возлействий промышленных взрывов	79
Возденетын промышленных вэрывов В.М. Семибаламут, А.Ю. Рыбушкин, А.А. Еманов, Р.А. Ершов, А.А. Бах, Д.Г. Корабельщиков. Аппаратура «Байкал» для различных видов сейсмологических работ	80
П.А. Сергушин, В.С. Исмагилов, Ю.А. Копытенко, М.С. Петрищев, В.Р. Юсупов. Способы обнаружения электромагнитных предвестников сильных землетрясений	81
К.Ю. Силкин. Trova – инструмент для моделирования глубоких нейронных сетей с применением в сейсмологии	82
А.Н. Соколов, Л.Г. Дуленцова. Параметры и сейсмическое воздействие сильнейших землетрясений Памира и Гиндукуша	83
В.М. Соловьев, В.С. Селезнев, В.В. Чечельницкий, С.В. Шибаев, А.С. Сальников, А.В. Лисейкин, Н.А. Галёва, А.Е. Шенмайер. Зоны сочленения крупных литосферных плит на востоке России по данным ГСЗ (в створе опорных геолого-геофизических	
профилей) С.А. Тихонов, Е.О. Макаров, Р.Р. Акбашев, Концентрации полночвенного	84
углекислого газа в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона	85
Р.М. Туктаров, С.В. Шибаев. Особенности сейсмических проявлений землетрясений дельты реки Лены и моря Лаптевых	86
А.В. Фатеев, А.А. Еманов, Р.А. Ершов, Е.В. Шевкунова, Е.А. Гладышев. Экспериментальные исследования с временными сетями станций наведённой сейсмичности в районе добычи угля Распадской угольной компанией	87
А.В. Федоров, В.Э. Асминг, И.С. Федоров, М.С. Пятунин. Первые результаты наблюдений сейсмоинфразвуковым комплексом ZEFI (остров Земля Александры) в высокоширотной Арктике	88
И.С. Федоров, А.В. Федоров, В.Э. Асминг. О результатах применения инфразвукового метода мониторинга лавинной активности в Хибинском горном массиве в сезоне 2023–2024 гг.	89
А.И. Филиппова, И.С. Бурлаков, А.С. Фомочкина. База данных «Механизмы очагов землетрясений Восточной Арктики»	90
А.С. Фомочкина, А.И. Филиппова. Построение модели Аляскинского землетрясения 2023 г. по амплитудным спектрам поверхностных волн	91

М.А. Хритова, Н.А. Гилёва. Результаты сейсмологических наблюдений в районе Северомуйского тоннеля БАМ в 1978–1993 гг.: оцифровка, хранение, анализ	92
Д.В. Чебров, С.А. Тихонов, И.Р. Абубакиров, Д.В. Дрознин, С.Я. Дрознина, Е.А. Матвеенко, С.В. Митюшкина, В.М. Павлов, А.А. Раевская, В.А. Салтыков, С.Л. Сенюков, Ю.К. Серафимова. Землетрясение в южной части Авачинского залива 3 апреля 2023 г. с <i>Мw</i> =6.5	93
А.С. Чемарёв, А.А. Шакирова. Семейства длиннопериодных землетрясений на вулкане Шивелуч в 2022–2023 гг.	94
В.В. Чечельницкий, А.Н. Шагун. Сейсмические воздействия на плотину Иркутской ГЭС	95
Д.Ю. Шулаков, Ф.Г. Верхоланцев, А.С. Зверева. Особенности сейсмической активности в районе Старобинского месторождения по данным локальных наблюдений	96
Приложение 1. Официальные сокращения названий организаций	97
Приложение 2. Сведения об авторах	101

CONTENTS

Yu.A. Vinogradov. The state of the seismological observation system in Russia and the prospects for its development	3
Z.A. Adilov. Manifestation of the synergy effect in seismicity	4
I.M. Aleshin. DSS or receiver function? Let underline the relevant!	5
E.I. Alyeshina, L.I. Karpenko, Yu.A. Gavrilenko. Seismicity of the Omsukchan district	6
A.G. Aronov, G.A. Aronov, I.V. Bednyakov, K.S. Bunyatov, V.V. Glagolev, Yu.V. Klemeshov, A.V. Krasnoperov, A.M. Kuzkin, A.A. Kursevich, A.A. Leuchanka, M.V. Lyablin, R.V. Ni, A.A. Pluzhnikov, K.D. Polyakov. Experimental observations based on the inclinometer MPLI at the geophysical observatory "Naroch"	7
A.G. Aronov, T.I. Aronova, O.V. Zaharevich, Yu.V. Martinovich, O.S. Raetskaya, K.V. Tsiareshchanka. Seismological observations in the Enderby Land region of Antarctica	8
A.G. Aronov, V.A. Bialiayeva, E.G. Gavrilkovich, Yu.V. Martinovich, V.Ch. Arlouski, K.V. Tsiareshchanka. Seismological monitoring at a granite quarry in Belarus	9
G.A. Aronov. Geophysical monitoring in Belarus. Status and prospects	10
V.E. Asming, A.V. Fedorov. Processing of infrasound data in the PSDL automatic detection and location system	11
A.I. Astaskevich, I.M. Aleshin, M.Yu. Nesterenko. Earth crust parameters from Zhu & Kanamori technique	12
V.V. Atrokhin, S.V. Kurtkin, M.A. Bakhtin. Seismological monitoring of the area of hydraulic structures of Kolyma Hydro-electric Power Station	13
M.M. Akhmedova, N.L. Ponomareva. Weak seismicity in Southern Dagestan in the first half of 2024	14
S.V. Baranov, A.Yu. Motorin. Relationship of the aftershock activity area with the first aftershock distribution: a case study of the Khibiny Massif	15
A.A. Bach, A.F. Yemanov, A.A. Yemanov, Yu.A. Vinogradov, A.G. Sheboltasov, A.V. Durachenko. Development of monitoring systems for buildings and structures	16
V.A. Bialiayeva, A.G. Aronov. Locating local seismic events in SeisComP software	17
E.A. Budilova, E.A. Matveenko. Software package for calculating the power spectral density of seismic noise	18
V.Yu. Burmin, G.R. Petrosyan. Comparative analysis of ISC catalog data and the results of re-determination of earthquake parameters in Turkmenistan	19
A.V. Verkholantsev. Analysis of deviations of the registered velocities from the predicted dependence of explosions at the quarry according to monitoring	20
F.G. Verkholantsev, D.Yu. Shulakov, Yu.V. Varlashova. Earthquake on August 8, 2023, I_0 =5.4, and seismic active zone "Tabory" (Perm Region)	21
A.E. Volvach, A.G. Aronov, G.A. Aronov, L.P. Kogan, L.N. Volvach. Study of earthquakes in Turkey and Croatia based on data from magnetic variation stations in Belarus and Crimea	22
Yu.V. Gabsatarov, I.S. Vladimirova, N.N. Titkov, N.S. Shchevyeva. Applications of machine learning methods in the analysis of satellite geodesy data	23
I.P. Gabsatarova, E.A. Selivanova, A.S. Zvereva. The scale of local magnitudes ML for earthquakes of the North Caucasus	24
N.K. Gayday, I.M. Khasanov. Prospects for the development of Tanzania's mineral resource base: From seismic studies to sustainable development	25
A.G. Galin. The use of modern data transmission technologies at the Novolazarevskaya seismic station	26

N.A. Gileva, V.I. Melnikova, Ya.B. Radziminovich, A.I. Filippova. Seismic impacts on the Baikal-Olyokma section of the Baikal-Amur Mainline	27
E.A. Gladyshev, A.A. Emanov, A.F. Emanov, A.V. Fateev, V.M. Semibalamut, E.V. Shevkunova, N.A. Serezhnikov, A.I. Artemova. Seismicity of the Novosibirsk region and influences on the dam of the Novosibirsk HPS	28
N.N. Grib, G.V. Grib, I.I. Kolodeznikov. Clarification of the initial seismicity during the reconstruction of the Gross Mining and Processing plant	29
P.V. Gromyko. Method of remote monitoring of the technical condition of dams and equipment of hydroelectric power stations of the Sulak cascade HPP	30
R.A. Dyagilev. New software for development of local magnitude scale	31
A.A. Emanov, A.F. Emanov, I.F. Eshkunova, A.V. Fateev, E.V. Shevkunova, E.A. Kobeleva, E.A. Gladyshev, V.V. Arapov. The structure of the seismic process in the Prikhubsugulya	32
A.F. Emanov, A.A. Emanov, A.V. Fateev, E.V. Shevkunova, E.A. Gladyshev, I.S. Novikov, P.O. Polyansky, V.V. Arapov, M.V. Frolov, A.Y. Rybushkin. Structural changes in the seismicity of Altai	33
M.A. Efremenko, S.P. Pivovarov, R.S. Pivovarov. Seismic station "Galichya Gora" in the tasks of monitoring local seismic events in the territory of the Voronezh crystal massif	34
M.A. Efremenko, A.E. Semenov, V.V. Mokhova. Spectral features of quarry blasts seismic records	35
A.D. Zavyalov, A.V. Guglielmi, O.D. Zotov, B.I. Klain. Main shock – Omori epoch – Source bifurcation – Stages of source zone evolution	36
A.S. Zvereva, A.A. Skorkina. Scaling of source spectra of earthquakes in the North Caucasus	37
P.S. Kireenko, A.M. Milekhina. Proposals to change the regulatory framework necessary for the functioning of the FSSO and earthquake forecasting	38
A.I. Klyanchin, A.S. Zvereva. Significant earthquakes in 2024 in the Krasnodar region	39
E.A. Kobeleva, V.V. Chechelnitskiy. Assessment of seismic impacts during driving of sheet piles by the Delta VM760R vibratory hammer	40
Ya.V. Konechnaya, G.N. Antonovskaya, E.R. Morozova. Comparative analysis of criteria for determining technogenic events at AMDE1 and KOLBA stations	41
Yu.F. Kopnichev, I.N. Sokolova. Analysis of ring-shaped seismicity structures in the region of the Caucasus: Possible preparation for large earthquake	42
Yu.F. Kopnichev, I.N. Sokolova. Heterogeneities of the S-waves attenuation field in the lithosphere of Northern Caucasus	43
G.N. Kopylova, S.V. Boldina. Seismo-Hydrogeodynamic effects in the system of geophysical monitoring and earthquake forecasting	44
T.Yu. Koroleva, A.K. Zarochentsev. Experience in adapting programs used in ambient noise tomography for a high-performance cluster using data from the Caucasus	45
L.N. Koroletski, I.P. Gabsatarova, V.V. Kosaya. Seismic events in the Kumo-Manych trough in the south of Kalmykia	46
A.S. Kulyandina, A.I. Filippova, E.Yu. Sokolova. Structure of the source area of the Khastakh earthquake (Northwestern Yakutia) from potential field data: Preliminary results	47
A.A. Kursevich, A.A. Leuchanka, V.A. Bialiayeva, L.V. Hiryna, A.A. Kadymau, A.A. Sivokho. Registration of seismic events by various types of seismometric equipment	48
A.V. Liseikin, V.S. Seleznev, E.E. Kosyakina. Detection of destructive processes during the operation of technical structures using low-amplitude seismic signals	49
E.V. Lisunov, S.V. Gorozhantsev. About the tsunami situation in the Sea of Japan	50
I.N. Litovchenko, V.S. Lyutikova. The principle of earthquake swarm recognition I.Yu. Lobodenko, L.M. Fihieva. Modern regulatory requirements for accounting seismic and geodynamic impacts on nuclear facilities	51 52

H.D. Magomedov. Features of seismicity in the Chirkey reservoir area	53
A.A. Makarov, V.S. Seleznev, S.V. Shibaev. Incorrect functioning of generating	
equipment regulation systems at Vilyuysk gensets 1 and 2 based on records from	51
E A Matycenko E A Budilova Development of data access subsystem of SDIS	54
in Kamchatka Branch of GS RAS in 2024	55
Ya.A. Mikhailova, E.R. Morozova. Seismicity of the arctic and sub-arctic territories of the Arkhangelsk region	56
A.P. Molokova, A.A. Skorkina. Estimation of moment magnitudes for earthquakes of the Klyuchevskaya group of volcanoes	57
C.E. Moraru. On the reaction of Moldova's groundwater to the strong earthquakes in Vrancea	58
A.N. Morozov, N.V. Vaganova. Seismicity of the western sector of the Russian Arctic	59
A.S. Muryskin. Determination of seismic wave propagation parameters for the area of the mine of JSC "Belaruskali"	60
M.Yu. Nesterenko, V.S. Belov, E.R. Galeeva. The influence of industrial explosions on the seismicity of the Eastern Orenburg region	61
A.A. Papkova, N.A. Gileva, Ya.B. Radziminovich. Strong earthquakes of the Baikal region and Transbaikalia ($M \ge 5.0$) in 2019-2023	62
R.A. Pashayan, D.K. Karapetyan, L.V. Harutyunyan, K.G. Tovmasyan. Variations of modern movements and deformations of the territory of Armenia crust according to the IGGY data	63
M.S. Petrishchev, Yu.A. Kopytenko, P.A. Sergushin, V.S. Ismagilov, V.R. Yusupov. Study of changes in the state of the environment by electromagnetic response from seismic events	64
N.V. Petrova, V.I. Levina. Intermagnitude relationships for creating a consolidated catalog of earthquakes in the Carpathian region	65
R.S. Pivovarov, S.P. Pivovarov. On the effectiveness of operation of the seismic station "Storozhevoye" in the field of global seismic monitoring	66
S.P. Pivovarov, M.A. Efremenko, R.S. Pivovarov. About the identification of local seismic events in the territory of the Voronezh crystalline massif	67
P.O. Polianskii, A.F. Emanov. The nature of refraction boundaries on the Earth's upper crust on fold areas and sedimentary bassins	68
P.A. Predein, Ts.A. Tubanov, V.V. Chechelnitskiy. Scalar seismic moment of earthquake sources in the central part of the Baikal rift	69
A.A. Raevskaya. Operative determination of double couple moment tensors for Kamchatka and the Commander Islands earthquakes in 2023 and the first half of 2024	70
V.A. Saltykov. Monitoring of seismic quiescence by the SESL'09 method (using the example of the earthquake 2024.06.13 ML 5.8, Kamchatka)	71
V.A. Saltykov, A.A. Shakirova. Reflection of the Klyuchevsky volcano activity in the statistical estimation of seismicity level SESL'09 in 2023	72
D.PD. Sanzhieva, Ts.A. Tubanov, E.A. Kobeleva. Parametric assessment of the seismicity level of the Baikal region	73
I.A. Sanina, I.O. Kitov, N.L. Konstantinovskaya, S.G. Volosov. Small-aperture arrays in seismological studies on the East European platform. First 20 years	74
A.A. Sayapina, I.Yu. Dmitrieva, S.S. Bagaeva. The tangible Chicola earthquake on June 2, 2024 with K_R =10.9, I=4-5 points	75
I.A. Sdelnikova, A.A. Sayapina, Yu.V. Gabsatarov, A.N. Khotinskaya. GNSS network expansion at the territory of the Republic of North Ossetia-Alania	76

V.S. Seleznev, I.V. Kokovkin, V.E. Dezhnev, G.A. Lopatin. Natural frequency analysis of Sayano-Shushenskaya HPP for crack opening diagnostics	77
V.S. Seleznev, A.V. Liseikin, I.V. Kokovkin. Remote control of buildings, structures and operating equipment	78
A.E. Semenov, I.N. Safronich, L.I. Nadezhka. Zoning of the territory of the Central Black Earth economic region according to the degree of seismic impacts of industrial explosions	79
V.M. Semibalamut, A.Yu. Rybushkin, A.A. Emanov, R.A. Ershov, A.A. Bach, D.G. Korabelshchikov. Baikal equipment for various types of seismological work	80
P.A. Sergushin, V.S. Ismagilov, Yu.A. Kopytenko, M.S. Petrishchev, V.R. Yusupov. On the methods for detection of electromagnetic precursors of strong earthquakes	81
K.Yu. Silkin. Trova is software for modeling deep neural networks with applications in seismology	82
A.N. Sokolov, L.G. Dulentsova. Parameters and seismic impact of large Pamir and Hindu Kush earthquakes	83
V.M. Solovyov, V.S. Seleznev, V.V. Chechelnitsky, S.V. Shibaev, A.S. Salnikov, A.V. Liseikin, N.A. Galeva, A.E. Schoenmaier. Zones of articulation of large lithospheric	
plates in eastern Russia according to the deep seismic sounding data (in the alignment of reference geological and geophysical profiles)	84
S.A. Tikhonov, E.O. Makarov, R.R. Akbashev. Concentrations of carbon dioxide in soils of the Petropavlovsk geodynamic test site	85
R.M. Tuktarov, S.V. Shibaev. Features of seismic manifestations of earthquakes in the Lena River delta and the Laptev Sea	86
A.V. Fateev, A.A. Emanov, R.A. Ershov, E.V. Shevkunova, E.A. Gladyshev. Experimental studies with temporary stations of technogenic seismicity in the coal mining area of the Raspadskaya Coal Company	87
A.V. Fedorov, V.E. Asming, I.S. Fedorov, M.S. Pyatunin. The first results of observations by the seismic infrasound complex ZEFI (Alexandra Land Island) in the high-latitude Arctic	88
I.S. Fedorov, A.V. Fedorov, V.E. Asming. On the results of the infrasound method of avalanche activity monitoring in the Khibiny mountain massif during the 2023-2024 season	89
A.I. Filippova, I.S. Burlakov, A.S. Fomochkina. Database "Focal mechanisms of earthquakes in the East Arctic region"	90
A.S. Fomochkina, A.I. Filippova. Building a model of the 2023 Alaskan earthquake from the amplitude spectra surface wave records	91
M.A. Khritova, N.A. Gileva. Results of seismological observations in the area of the Severomuysky tunnel of BAM in 1978-1993: Digitization, storage, analysis	92
D.V. Chebrov, S.A. Tikhonov, I.R. Abubakirov, D.V. Droznin, S.Ya. Droznina, E.A. Matveenko, S.V. Mityushkina, V.M. Pavlov, A.A. Raevskaya, V.A. Saltykov, S.L. Senyukov, Yu.K. Serafimova. Earthquake in southern Avacha Gulf on April 3, 2023 (Mw=6.5)	93
A.S. Chemarev, A.A. Shakirova. Families of long-period earthquakes on Shiveluch volcano in 2022-2023	94
V.V. Chechelnitsky, A.N. Shagun. Seismic impacts on the dam of the Irkutsk hydroelectric power station	95
D.Yu. Shulakov, F.G. Verkholantsev, A.S. Zvereva. Features of seismic activity in the Starobinsk deposit area according to local monitoring results	96
Appendix 1. Official names of organizations reducing	97
Appendix 2. Data on authors	101

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ. ТЕЗИСЫ XVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ

Витебск, Республика Беларусь, 9–13 сентября 2024 г.

Подготовка и издание сборника осуществлены при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) 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: Д.Ю. Виноградова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» 249035, г. Обнинск, Калужская обл., пр. Ленина, д. 189. Тел.: 8-484-393-14-05, 8-495-912-68-72. Е-mail: frc@gsras.ru

> Подписано в печать 10.07.2024 г. Формат 60×90/8. Тираж 120 экз. Усл. печ. л. 15.

Отпечатано в типографии: ООО «Интер-ЕС» г. Пермь, ул. Плеханова, 39, тел. (342) 2-150-170. Заказ № 230671