

Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
АО «СНИИГГиМС»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Материалы XV Международной
сейсмологической школы



**Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
АО «СНИИГГиМС»**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Тезисы XV Международной сейсмологической школы
г. Новосибирск, Россия, 6–10 сентября 2021 г.**

MODERN METHODS OF PROCESSING AND INTERPRETATION OF SEISMOLOGICAL DATA

**Abstracts of the XV International Seismological Workshop
Novosibirsk, Russia, September 6-10, 2021**

Обнинск – 2021

УДК 550.34
ББК 26.217
С568

Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – 136 с.

ISBN 978-5-903258-42-0

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XV Международной сейсмологической школе «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных», состоявшейся в г. Новосибирске, Россия, 6–10 сентября 2021 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.), канд. техн. наук Ю.А. Виноградов, канд. физ.-мат. наук Р.А. Дягилев, канд. физ.-мат. наук И.П. Габсатарова, канд. физ.-мат. наук Н.В. Петрова, д-р геол.-мин. наук В.С. Селезнев.

Подготовка и издание сборника осуществлены в рамках государственного задания № 075-00576-21 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».

Modern methods of processing and interpretation of seismological data // Abstracts of the XV International Seismological Workshop / Editor A.A. Malovichko. – Obninsk: GS RAS, 2021. – 136 p.

Abstracts contain the reports presented at the XV International Seismological Workshop «Modern methods and interpretation of seismological data» held in Novosibirsk, Russia, September 6-10, 2021. 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), PhD Yu.A. Vinogradov, PhD R.A. Dyagilev, PhD I.P. Gabsatarova, PhD N.V. Petrova, Dr. V.S. Seleznev.

ISBN 978-5-903258-42-0

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2021

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ УЧАСТКОВ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ КОЛЫМСКОЙ ГЭС

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

Работы по определению сейсмичности проводятся в юго-восточной части сейсмического пояса Черского. Землетрясения этого пояса представляют основную опасность для сооружений Колымской ГЭС. По данным карт ОСР-2015, район исследований располагается в 7-, 8- и 9-балльных зонах расчетной сейсмической интенсивности [1].

Площадь исследований представляет прямоугольник, в центре которого располагаются сооружения Колымской ГЭС. В пределах этой территории на расстоянии ~150 км от объекта находятся основные сейсмогенные зоны, землетрясения которых проявляются максимальными сотрясениями на площади сооружений Колымской ГЭС.

За период инструментальных наблюдений (1968–2020 гг.) в районе ГЭС зарегистрировано более 1700 сейсмических событий с энергетическим классом $K \leq 14.0$. Гипоцентры землетрясений расположены в пределах земной коры на глубинах $h \leq 33$ км. Основное количество событий сконцентрировано в диапазоне глубин 5–6 км. Самые сильные землетрясения (с $M \geq 5$) регистрировались на глубинах 15–24 км.

Определено положение зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ), которые связаны с крупнейшими одноименными сейсмогенерирующими разломами: Дебинским, Чай-Юрьинским и Улахан [2]. Согласно механизмам очагов сильнейших землетрясений, современные типы подвижек по разломам – сдвиги, надвиги, сбросы и взбросы [3, 4]. Вблизи эпицентров землетрясений преобладают субвертикальные смещения ($70-90^\circ$).

Сотрясения за весь инструментальный период не превышали 5 баллов, что существенно ниже, чем указано на картах общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2015 [5, 6].

Полученные результаты являются исходными оценками сейсмических воздействий при проведении сейсмического микрорайонирования на данном объекте.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2015. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. – М.: ИФЗ РАН, 2015. – 57 с.
2. Кузнецов В.М. Схема тектонического районирования Охотско-Колымского водораздела. Масштаб 1:1 000 000. – Магадан: ФГУП «Магадангеология», 2001. – 8 листов.
3. Козьмин Б.М. Сейсмические пояса Якутии и механизм очагов землетрясений. – М.: Наука, 1984. – 125 с.
4. Сейсмотектоника северо-восточного сектора Российской Арктики / Отв. ред. Л.П. Имаева, И.И. Колодезников. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 134 с.
5. Алёшина Е.И., Годзиковская А.А., Гунбина Л.В., Коломиец М.В., Седов Б.М. Сводный каталог землетрясений Северо-Востока России с древнейших времен по 1974 год. – Обнинск, Магадан: ГС РАН, 2015. – 152 с.
6. Степанов В.В., Годзиковская А.А. Уточнение исходной сейсмичности района расположения основных сооружений Колымской ГЭС на р. Колыме // Отчет ОАО «Инженерный центр ЕАС Гидропроект, Ленгидропроект, Теплоэлектропроект, фирма ОРПРЭС». – М., 2005. – 110 с.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Ф.Р. Артиков, Л.А. Хамидов, д.ф.-м.н.,
И.М. Алимухамедов, к.г.-м.н., Б.Р. Ганиева
ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Эксплуатация гидротехнических сооружений вносит в состояние и свойства скальных массивов существенные изменения, связанные с их разгрузкой и последующим уплотнением, цементацией, обводнением и другими техногенными процессами [1]. Исследования внутреннего состояния земной коры, проведенные нами за последние годы в зонах действия крупных водохранилищ (Чарвакского, Гисаракского и Тупалангского гидротехнических сооружений Узбекистана), позволили выявить концентрацию напряжений при нагрузке-разгрузке водохранилищ вблизи лежащих активных разломов и вариационный характер локальной сейсмичности [2]. Установлено, что наибольшее внимание необходимо уделять исследованию свойств скальных оснований интенсивно эксплуатируемых водохранилищ. Они передают на массивы земной коры особенно большие деформации, нагрузки и отличаются повышением количества слабых землетрясений. Хотя исследованию оснований таких объектов всегда уделялось повышенное внимание, свойства, и, главным образом, деформирование и механизм проявления в этих зонах землетрясений и оценки поведения скальных массивов под нагрузкой изучены пока недостаточно полно [1, 2].

Проведенные за последние годы исследования по определению связи техногенного напряженно-деформированного состояния сейсмоактивных разломов в зоне влияния крупных водохранилищ с особенностями строения земной коры, составом, податливостью и другими характеристиками среды показали высокую вероятность зависимости изменения локальной сейсмичности от эксплуатации. Математическим моделированием определены распределения полей напряжений вокруг водохранилищ при нагрузках и разгрузках. Анализ проведенных исследований по оценке деформаций, согласно геодезическим измерениям в ближней зоне нескольких водохранилищ, показал, что при эксплуатации крупных водохранилищ их основания и чаши находятся в постоянно действующих нагрузках сжатия и растяжения соответствующей интенсивности амплитуд пригибания оснований от вариации объема. Деформации оснований могут соответствовать предельным тектоническим очаговым деформациям, непосредственно влияющим на регулярное напряженно-деформированное состояние и общее геодинамическое движение близлежащего сейсмогенного слоя земной коры (в пределах зоны активного влияния водохранилищ). В результате определены дополнительные смещения и деформации, возникающие при эксплуатации водохранилищ. Исследования выявили значительную зависимость смещений оснований от изменения давления, от объема и возможную соизмеримость дополнительных деформаций оснований с очаговыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ташлыкова Т.А., Рященко Т.Г.* Возбужденная сейсмичность при создании водохранилищ: анализ первых фактов и возможных причин // Инженерная защита. – 2015. – № 6. – С. 98–104.
2. *Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л.* Параметры оценки локальной геодинамики ближних зон водохранилищ // Пятая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием. – М.: ИФЗ РАН, 2020. – С. 571–578.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ БУЙНАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 24 МАЯ 2019 Г.

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

В предгорной полосе Дагестана 24 мая 2019 г. в 22^h34^m произошло ощутимое землетрясение с интенсивностью сотрясений в эпицентре $I_0=6$ баллов. По инструментальным данным Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН получено следующее решение параметров землетрясения: $\varphi=42.85^\circ\text{N}$, $\lambda=47.05^\circ\text{E}$, $h=18$ км, $K_p=11.8$ ($M_S=4.3$) [1]. Город Буйнакск оказался в эпицентральной зоне. Данное землетрясение названо «Буйнакское-П», так как ему предшествовало Буйнакское-И землетрясение 9 января 1975 г. с $M_S=5.3$, интенсивность сотрясений в эпицентре которого составляла $I_0=8$ баллов, координаты гипоцентра по макросейсмическим данным составили: $\varphi=42.85^\circ\text{N}$; $\lambda=47.13^\circ\text{E}$; $h=9$ км.

В результате землетрясения наиболее пострадали город Буйнакск, селения Халимбакаул, Кафыр-Кумух и Атланаул, где интенсивность подземных толчков достигала 6 баллов. Землетрясение проявилось в виде резкого вертикального толчка, как бы взрыва, перешедшего в горизонтальные колебания широтного направления. Внутри помещений падали неустойчиво стоящие предметы. На стенах домов появились трещины, осыпалась штукатурка. Изосейсты вытянуты с юго-востока на северо-запад, а плейстосейстовая зона охватывает Буйнакский, Унцукульский, Коркмаскалинский, Казбековский и другие районы. Координаты макросейсмического эпицентра определены как центр тяжести плейстосейстовой зоны, окруженной 6-балльной изосейстой, ориентировочная конфигурация которой определена устойчивым положением 5-балльной изосейсты. Она же определена конфигурацией 3- и 4-балльных изосейст.

Буйнакская очаговая зона высокосейсмична. За период от конца XIX в. до начала XXI в. известно более 20 землетрясений, макросейсмический эффект в эпицентре которых составил более 6 баллов. К наиболее сильным из них относятся: 8–9-балльное Дагестанское землетрясение 09.03.1830 г. с $M_S=6.3$ и $I_0=8-9$ баллов; Кумторкалинское землетрясение 05.08.1955 г. с $M_S=4.8$ и $I_0=6-7$ баллов; форшок Дагестанского землетрясения 14.05.1970 г. с $M_S=5.3$ и $I_0=7-8$ баллов; Дагестанское землетрясение 14.05.1970 г. с $M_S=6.6$ и $I_0=9$ баллов; несколько 7-балльных афтершоковых землетрясений [2].

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адиллов З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагатовва Е.Ю., Шахмарданова С.Г. Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2019 г. – Махачкала: Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – 95 с.
2. *Общий каталог землетрясений на территории Дагестана* // Макросейсмические инструментальные данные о землетрясениях за период с VII в. н.э. до 2005 г. / Отв. исп. О.А. Асманов, Р.А. Левкович. – Махачкала, 2007. – 393 с.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧНОСТИ ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА LORS2

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

Хибинский массив, находящийся в центре Кольского полуострова, является районом с активной горнодобывающей деятельностью. Здесь были отмечены горные удары и землетрясения с магнитудами до 4. Основной компанией, ведущей работы в Хибинском массиве, является ОАО «Апатит», которая располагает собственными сетями сейсмических станций, охватывающими территории двух рудников [1]. Данные сети регистрируют и с высокой точностью лоцируют сейсмические события, происходящие на этих рудниках, но либо не замечают, либо лоцируют с большой погрешностью события, случившиеся за пределами рудников. Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН обрабатывает данные региональной сети сейсмостанций. С 2015 г. для этого используется автоматическая система NSDL [2].

В 2010 г. была создана первая версия совместной системы мониторинга массива АСКСМ [3]. За время эксплуатации назрела необходимость ее модернизации – были установлены новые станции, запущена система NSDL, разработаны новые алгоритмы локации.

В 2019–2020 гг. была разработана новая версия системы, территориально размещенная как в КоФ ФИЦ ЕГС РАН, так и в центре геофизического мониторинга (ЦГМ) ОАО «Апатит». В Кольском филиале работает версия NSDL, обнаруживающая и лоцирующая события в 50-километровой зоне вокруг рудников ОАО «Апатит». Также здесь установлена программа-сервер, передающая данные (бюллетени и волновые формы) в ЦГМ ОАО «Апатит». В ЦГМ установлены программа-клиент, получающая данные от сервера КоФ, программа автоматической локации событий по сетям ОАО «Апатит», а также программа объединения данных и совместной интерактивной локации LORS2, в которой используются оригинальные алгоритмы локации, основанные на комбинациях сеточного поиска и минимизации невязки времени в очаге. По результатам работы системы создается база данных с возможностью картографического отображения.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аккуратов М.В.** Сейсмический мониторинг на рудниках ОАО «Апатит» // Проблемы и тенденции рационального и безопасного освоения георесурсов. Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Горного института КНЦ РАН. – Апатиты, СПб., 2011. – С. 374–379.
2. **Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В., Евтюгина З.А.** Автоматическая система мониторинга региональной сейсмичности NSDL. Принципы построения и некоторые результаты использования // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 33–36.
3. **Аккуратов М.В., Асминг В.Э., Виноградов Ю.А., Корчак П.А.** Объединенная система контроля состояния Хибинского горного массива на базе сетей сейсмических станций Кольского филиала ГС РАН и ОАО «Апатит» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 7–10.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОТЕКТОНИКИ РАЙОНА ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ УСТЬ-СРЕДНЕКАНСКОЙ ГЭС

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

Работы по определению сейсмичности проводились в юго-восточной части сейсмического пояса Черского. Землетрясения этого пояса представляют основную опасность для сооружений Усть-Среднеканской ГЭС. По данным карт ОСР-2015, район исследований располагается в 7-, 8- и 9-балльных зонах расчетной сейсмической интенсивности [1].

За период инструментальных наблюдений (1968–2020 гг.) в районе ГЭС зарегистрировано более 800 сейсмических событий с энергетическим классом $K_p \leq 13.7$. Основная масса землетрясений связана с глубинными разломами северо-западного и субмеридионального простирания. Согласно механизмам очагов сильнейших землетрясений, современные типы подвижек по разломам – сдвиги, надвиги, сбросы и взбросы. Близ эпицентров землетрясений преобладают субвертикальные смещения [2–4].

Методом сейсмопрофилирования проанализирована сотрясаемость площадок основных сооружений ГЭС, получены данные по примыкающим к ГЭС субширотным разломам, которые разделяют массив коренных пород на блоки.

При сопоставлении положения эпицентров землетрясений с геологическими и тектоническими картами района исследований установлена связь слабых землетрясений с $K_p \leq 8$ не только с глубинными разломами пояса Черского, но и с прочими тектоническими нарушениями, и со стратиграфической линией разделения свит горных пород. Присутствие слабой сейсмичности в этом районе свидетельствует о смещении блоков горных пород по субширотным разломам. В связи с этим необходима организация постоянного инструментального сейсмического мониторинга.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Уломов В.И., Шумилина Л.С.* Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2015. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. – М.: ИФЗ РАН, 2015. – 57 с.
2. *Проведение исследований по глубинному строению и геодинамике района Усть-Среднеканской ГЭС для детального сейсмического районирования.* – Магадан: Фонды СВКНИИ, 1991.
3. *Кузнецов В.М.* Схема тектонического районирования Охотско-Колымского водораздела. Масштаб 1:1 000 000. – Магадан: ФГУП «Магадангеология», 2001. – 8 листов.
4. *Сейсмоструктура северо-восточного сектора Российской Арктики* / Отв. ред. Л.П. Имаева, И.И. Колодезников. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 134 с.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

¹С.М. Бабушкин, ²А.Ю. Рыбушкин, ²Д.О. Терешкин, ³Н.Н. Неведрова, д.г.-м.н.

¹СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

³ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Нестационарные электромагнитные зондирования показали свою высокую эффективность для широкого круга задач, в том числе при изучении геодинамических процессов в земной коре в задачах прогнозирования опасных природных явлений. Осложнения, с которыми приходится иметь дело в процессе проведения геоэлектрических работ, можно разделить на две группы. К первой следует отнести геологические факторы, затрудняющие исследование осадочного чехла – разрывные нарушения, сложную морфологию горных пород. Вторая группа – это сложные условия рельефа и климата, наличие интенсивных индустриальных электромагнитных помех. Также важную роль играет возрастание стоимости электроразведочных работ в сложных условиях и при повышении пространственной плотности наблюдений.

Таким образом, требовалась разработка современной многоканальной регистрирующей аппаратуры, создание измерительных систем с высокой мобильностью, точностью измерения, с возможностью эффективной организации наблюдений с повышенной пространственно-временной плотностью [1]. Разработка оптимальной технологии сбора и математической компьютеризированной обработки информации для условий высокого уровня электромагнитных помех вблизи промышленных объектов является актуальной [2].

В докладе рассмотрен разработанный измерительный комплекс для нестационарных электромагнитных зондирований на основе мобильных регистрирующих систем с необходимой пространственной плотностью наблюдений, арифметическим шагом дискретизации и записью всех накоплений в цифровом виде.

К модулю подключаются датчики электрического и/или магнитного поля, как традиционные (линия, одновитковая или многовитковая рамки), так и датчики, собранные по технологии тонких магнитных пленок.

Модуль «Байкал 512» может эксплуатироваться в качестве автономной системы или как часть массива модулей, в котором каждый блок синхронизируется при помощи встроенных приемных устройств спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС, GPS.

Основные результаты. Изготовлено шесть опытных образцов одноканального электроразведочного модуля (ЭМ) «Байкал 512». Проведены натурные испытания опытного образца ЭМ «Байкал 512» на территории Горного Алтая. Оценена эффективность многоканальной электромагнитной системы для задач выделения сложно построенных геологических объектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Санчаа А.М., Неведрова Н.Н., Бабушкин С.М. Строение Уймонской впадины Горного Алтая по данным нестационарных электромагнитных зондирований // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2020. – № 3. – С. 66–76.
2. Неведрова Н.Н., Бабушкин С.М., Шапаренко И.О. Геоэлектрические модели разломных зон Горного Алтая // Триггерные эффекты в геосистемах: тезисы докладов V Международной конференции, Москва, 4–7 июня 2019 г. – М.: ГЕОС, 2019. – С. 142–143.

ДЖЕЙРАХСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 24 МАЯ 2020 Г. С $K_p=10.6$ В РЕСПУБЛИКЕ ИНГУШЕТИИ

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

24 мая 2020 г. в 12^h33^m на территории Джейрахского района Республики Ингушетии произошло ощутимое землетрясение с $K_p=10.6$. Параметры землетрясения были определены по данным сетей сейсмических станций NOGSR, OBGSR и DAGSR [1] и одной станции Грузии. Сеймотектоническая позиция очага землетрясения приходится на пересечение зоны Главного Кавказского надвига с частично погребенным сбросом антикавказской ориентировки и приурочена к северо-восточной оконечности Казбегской очаговой зоны [2], возможно имеющей связь с потухшим вулканом Казбек.

Механизм очага рассматриваемого землетрясения рассчитан по знакам первого движения в P -волне на 21 станции, из них на 13 зарегистрированы волны растяжения, на восьми – волны сжатия. Согласно полученному решению, землетрясение возникло под действием растягивающих напряжений, ориентированных в северо-восточном направлении. Тип движения по обеим плоскостям – нормальный сброс с небольшой сдвиговой компонентой.

С интенсивностью 4 балла землетрясение проявилось в населенных пунктах Верхний и Нижний Ларс, 3–4 балла – в селении Чми, 3 балла ощутимость землетрясения составила в селах Балта, 2-й Редант (РСО-Алания) и Степанцминда (Грузия), 2–3 балла – в населенных пунктах Тарское и 1-й Редант, 2 балла – в населенных пунктах Владикавказ, Верхний Фиагдон, Сунжа и Михайловское по единичным слабым ощущениям людей. Оценка интенсивности проводилась на основе шкалы ШСИ-17 [3].

Исторически в очаговой зоне рассматриваемого землетрясения по данным каталогов [4] известны 27 землетрясений с $M=3.8-5.4$. Наиболее заметными были землетрясения: Дарьяльское 14.01.1915 г. с $M=5.4$ и $I_0=7$ баллов с последующим афтершоком 21.01.1915 г. с $M=5.2$ и $I_0=6$ баллов; 06.04.1932 г. с $M=4.7$ и $I_0=6$ баллов; 02.09.1903 г. с $M=4.0$ и $I_0=6$ баллов вдоль Кармадонской зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) с максимальным возможным энергетическим потенциалом $M_{max}=6.5$.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Габсатарова И.П., Мехрюшев Д.Ю., Королецки Л.Н., Адилов А.З., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С., Янков А.Ю., Иванова Л.Е. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 17.
2. Погода Э.В., Гричуха К.В., Кабирова О.Г. Очаговые зоны землетрясений центральной части Северного Кавказа // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2015. – С. 265–268.
3. ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
4. Годзиковская А.А. База данных «Каталог землетрясений Кавказа с $M \geq 4.0$ ($K \geq 11.0$) с древнейших времен по 2000 г.» [Электронный ресурс]. – URL: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/caucasus/>

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛАБЫХ РОЕВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНЕ ВУЛКАНА ЭЛЬБРУС В 2018 Г.

¹С.С. Багаева, ¹А.А. Саяпина,
¹И.Ю. Дмитриева, ²С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.
¹СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Рассматриваемый район исследований по географическому положению находится в Приэльбрусье, центром которого является вулкан Эльбрус, относящийся в настоящее время к числу «спящих» молодых вулканов [1]. По картам общего сейсмического районирования Северной Евразии (ОСР-16) район расположен в потенциальной зоне, которая характеризуется возможными 8- и 9-балльными сотрясениями земной поверхности. В 1350 г. (± 100 лет) в Чегемском ущелье, относящемся к этой зоне, зарегистрировано сильное землетрясение с магнитудой $M=5.9$, которое проявилось с 8-балльной интенсивностью, что привело к значительным разрушениям в нескольких горных селениях [2].

В исследуемом районе сетью сейсмологических наблюдений Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН уверенно регистрируются землетрясения с $K_p \geq 6$ [3]. В январе и марте 2018 г. на юго-востоке территории Кабардино-Балкарской Республики зафиксированы два роя, центры которых удалены друг от друга примерно на 25 км и разделены Пшекиш-Тырныаузским тектоническим швом.

Первый рой длился с 25 по 30 января 2018 г. и включал в себя 12 землетрясений с $K_p=5.1-9.7$, наибольшее число которых (10 из 12) произошло 30 января. Область сейсмической активности расположена в горах, в 16 км к юго-западу от г. Тырныауза. В пределах этого района подобные рои возникали в 2002, 2006 и 2008 гг.

Второй рой землетрясений начался 26 марта заметной группой из 18 землетрясений с $K_p=5.2-9.3$, произошедших в течение двух часов, и завершился на следующий день одним событием. В этом случае область сейсмической активности располагалась в 14 км к северо-востоку от вулкана Эльбрус. Проявление такой сейсмической активности в этом районе ранее не наблюдалось.

Проанализированы все записи и их спектры по каждой станции отдельно. Спектры первого и второго роя землетрясений по каждой отдельной станции имеют заметные различия. Это явно видно на нефильтрованных записях сейсмостанции «Дигора», выровненных по времени вступления P -волны, и на их построенных спектрах.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что рои не связаны друг с другом, но могут относиться к слабой сейсмической активности от вулканической деятельности.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Габсатарова И.П.* Сейсмические события вблизи дремлющих Кавказских вулканов Эльбруса и Казбека // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 142–146.
2. *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 времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
3. *Погода Э.В., Багаева С.С., Саяпина А.А.* Регистрационные возможности сети сейсмологических наблюдений Северо-Осетинского филиала ГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 266–269.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛЕГЧЕННЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Г. МАГАДАНА

^{1,2}В.В. Баль, ^{1,3}Н.К. Гайдай, к.г.-м.н., ¹А.Н. Муромцев

¹СВГУ, г. Магадан

²АБ «ТРИРУКИ», г. Магадан

³СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

Степень сейсмической опасности на территории г. Магадана для средних грунтовых условий составляет 7–9 баллов (по шкале MSK-64) [1]. Согласно карте микросейсморайонирования города, около 30% современной застройки расположено на территориях с оценочной сейсмической интенсивностью в 9 баллов.

Для строительства в условиях повышенной сейсмичности важной является способность конструкции сохранять свою целостность даже при наличии различных деформаций и нарушений, вызванных сейсмическим воздействием. Не менее важной с экономической точки зрения является возможность быстрого восстановления поврежденных конструкций.

Для повышения устойчивости конструкции к сейсмическим воздействиям сегодня используются различные технические решения – строительство на сейсмоизоляторах, сейсмобезопасные фундаменты, сейсмические пояса, контрфорсы и др. При этом наибольшее влияние на величину сейсмических нагрузок оказывает масса сооружения [2]. Поэтому необходимо стремиться к максимальному снижению веса конструкций и, соответственно, сейсмических сил.

Во многих странах мира, где часто происходят энергетически сильные природные явления, вызывающие нарушения конструкций (ураганы, торнадо и т.п.), исторически для нужд строительства используются легкие быстровозводимые конструкции. В последнее время все чаще такие конструкции стали применять и для строительства в сейсмических районах.

К прочим преимуществам таких конструкций добавляется гибкость каркаса, которая позволяет им оставаться более устойчивыми к сейсмическим воздействиям. При этом относительная легкость подобных конструкций уменьшает вероятность тяжелых последствий и для людей в случае деформации и разрушения здания. Для северных условий важно также обеспечить достаточные теплоизолирующие свойства ограждающей конструкции, и применение термопрофиля ЛСТК эффективно решает эту задачу.

Проведенные расчеты показали, что облегченные ограждающие конструкции, в отличие от традиционных ограждающих конструкций из кладки, эффективно работают на сжатие и растяжение, обеспечивая корректное восприятие горизонтальных сейсмических нагрузок. Кроме этого, существенное снижение собственного веса ограждающих конструкций пропорционально снижает материалоемкость и массу конструкций каркаса, что главным образом определяет рентабельность строительства.

Такие конструкции реализованы сегодня в проектах нескольких вновь возводимых сооружений на сейсмически напряженных участках строительства в г. Магадане. Здесь предложено применение легких стальных тонкостенных конструкций в качестве ограждающих.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Изменение № 1 к СП 14.13330.2018*. Строительство в сейсмических районах. – М., 2019. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.minstroyrf.ru> Дата обращения 07.04.2020.
2. *СП 14.13330.2018*. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. – М., 2018. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.minstroyrf.ru> Дата обращения 07.04.2020.

О ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПОСТСЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ХИБИНСКОМ МАССИВЕ

¹С.В. Баранов, д.ф.-м.н., ²А.Ю. Моторин, ³П.Н. Шебалин, д.ф.-м.н.

¹КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты

²Кировский филиал АО «Апатит», г. Кировск

³ИТПЗ РАН, г. Москва

Используя данные сейсмического мониторинга, проводимого Кировским филиалом АО «Апатит» на территории Хибинского массива [1], было показано, что расстояния от сейсмических событий, инициированных более ранним сейсмическим событием (триггером), до их триггеров подчиняются степенному распределению с параметром, не зависящем от магнитуды события-триггера. Этот результат согласуется с результатом, полученным в [2] для Южной Калифорнии и подтвержденным в [3] для района Японии. С дискуссией о физической природе степенного характера пространственного распределения можно ознакомиться в работах [2, 3].

На тех же данных о сейсмичности Хибинского массива было показано, что распределение расстояний от сейсмических событий до инициирующих их взрывотриггеров также является степенным.

Таким образом, степенной характер пространственного распределения постсейсмической активности имеет место и в условиях техногенной сейсмичности. Степенное распределение поствзрывной сейсмичности дает основание полагать, что вид пространственного распределения определяется свойствами среды и не зависит от механизма ее возмущения (сейсмическое событие или взрыв).

Использование этих закономерностей и установленного нами ранее закона продуктивности землетрясений, подтвержденного для техногенной сейсмичности [4] и сейсмической продуктивности взрывов [5], дает возможность с заданной вероятностью оценить зону, где ожидаются повторные толчки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00812).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корчак П.А., Жукова С.А., Меньшиков П.Ю.* Становление и развитие системы мониторинга сейсмических процессов в зоне производственной деятельности АО «Апатит» // Горный журнал. – 2014. – № 10. – С. 42–46.
2. *Felzer K.R., Brodsky E.E.* Decay of aftershock density with distance indicates triggering by dynamic stress // Nature. – 2006. – V. 441, N 7094. – P. 735–738.
3. *Richards-Dinger K., Stein R.S., Toda S.* Decay of aftershock density with distance does not indicate triggering by dynamic stress // Nature. – 2010. – V. 467, N 7315. – P. 583–86.
4. *Баранов С.В., Жукова С.А., Корчак П.А., Шебалин П.Н.* Продуктивность техногенной сейсмичности // Физика Земли. – 2020. – № 3. – С. 40–51.
5. *Баранов С.В., Жукова С.А., Шебалин П.Н., Моторин А.Ю.* О независимости сейсмической продуктивности от механизма возмущения среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11/37. – С. 333–342.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ДАГЕСТАНА В 2019 Г.

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

В 2019 г. в Дагестане и на сопредельных территориях, находящихся в зоне ответственности мониторинга ДФ ФИЦ ЕГС РАН, были определены параметры 1640 землетрясений с энергетическим классом $K_p=6-13$ [1]. На основе данных сейсмологического мониторинга были составлены: карта распределения эпицентров землетрясений, карта сейсмической активности, график распределения гипоцентров землетрясений по глубинам и карта изосейст Буйнакского землетрясения 24 мая 2019 года.

Анализируя распределение землетрясений на территории Дагестана за 2019 г. и данные сейсмомониторинга прошлых лет, можно выделить несколько сейсмоактивных районов, на территории которых ежегодно происходят землетрясения: район Чиркейского водохранилища, район Андийского хребта, район пересечения Главного водораздельного и Богосского хребтов.

Можно отметить увеличение общего числа зарегистрированных в 2019 г. землетрясений ($N=1640$) по сравнению с 2018 г. ($N=1285$), а общая выделенная энергия в 2019 г. ($2.25 \cdot 10^{13}$ Дж) оказалась меньше, чем в 2018 г. ($1.02 \cdot 10^{14}$ Дж).

Расположение гипоцентров землетрясений по глубинам распределяется в пределах от 0 до 80 км. Большая часть гипоцентров концентрируется в верхней части земной коры до 25 км от поверхности.

В 2019 г. отмечено шесть ощутимых землетрясений.

Буйнакское землетрясение с $K_p=11.3$ произошло 24.05.2019 г. в 22^h34^m , $\varphi=42.85^\circ N$, $\lambda=47.05^\circ E$, $h=18$ м, $I=6$ баллов. Наиболее близкими к эпицентру землетрясения были населенные пункты Буйнакск, Халимбекаул и Атланаул [2].

Сравнительно сильное землетрясение с $K_p=12.7$ произошло 07.06.2019 г. в 05^h27^m в Каспийском море вблизи г. Дербента ($\varphi=42.18^\circ N$, $\lambda=48.90^\circ E$, $h=54$ км), за ним последовали немногочисленные афтершоки. Еще одно сильное землетрясение с $K_p=12.9$ произошло 10.08.2019 г. в 07^h35^m в приграничной зоне на азербайджанской территории ($\varphi=41.66^\circ N$, $\lambda=46.66^\circ E$, $h=18$ км). Последующие два толчка (10.08.2019 г. в 11^h22^m , $K_p=10.6$, $\varphi=41.54^\circ N$, $\lambda=46.43^\circ E$, $h=9$ км; 11.08.2019 г. в 03^h29^m , $K_p=11.5$, $\varphi=41.53^\circ N$, $\lambda=46.57^\circ E$, $h=18$ км) были его афтершоками. Эта зона активна на протяжении нескольких последних лет, почти ежегодно в этом районе происходят ощутимые землетрясения с интенсивностью сотрясений 5–6 баллов.

В заключение отметим, что во всех сейсмоактивных зонах, описанных выше, периодически происходят сейсмические события с интенсивностью сотрясений 6 баллов и выше, в связи с этим их следует рассматривать как сейсмоопасные.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Магомедов Х.Д., Адилов З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю., Павличенко И.Н. Каталог землетрясений Дагестана и приграничные зоны за 2019 г. – Обнинск: Фонды ФИЦ ЕГС РАН, 2020.
2. Асманов О.А., Адилов З.А., Батыров Т.Б. Макросейсмические проявления Буйнакского-II землетрясения 24 мая 2019 г. с $M_S=4.3$ // Мониторинг. Наука и технологии. – 2019. – № 4 (42). – С. 21–25.

КРУТИЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЗДАНИЙ ПО ДАННЫМ МЕТОДА СТОЯЧИХ ВОЛН

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

Расчеты на сейсмостойкость зданий выполняются на горизонтальные колебания. В большинстве случаев собственные колебания зданий в горизонтальных направлениях существенно превышают вертикальные и крутильные, и их неучет оправдан. Есть факты, когда вертикальные колебания в многоэтажных зданиях при крупных землетрясениях приводят к их разрушениям [1, 2]. Метод стоячих волн, позволяющий видеть все моды собственных колебаний зданий, в последние годы адаптирован к исследованию объектов сложных конструкций [3, 4]. В данной работе изучается возможность возникновения вертикальных и крутильных колебаний больших амплитуд в зданиях. При исследованиях методом стоячих волн в некоторых зданиях сложных конструкций, применяющихся для объектов специального назначения, фиксируются вертикальные моды собственных колебаний высокой интенсивности. Интенсивные вертикальные собственные колебания фиксируются на здании, стоящем над линией метро. Особенно сильно это выражено в части здания над тоннелем. Собственные вертикальные колебания зданий фиксируются в библиотеках. Увеличение массы на перекрытиях закономерно вызывает усиление вертикальных колебаний. Набор мод вертикальных колебаний фиксируется в сейсмоизолированных зданиях с гибким этажом. Формирование подобных колебаний обусловлено наличием стальных колонн, которые могут, в отличие от бетонных, сжиматься, что позволяет вышнему восьмизэтажному блоку здания изгибаться по вертикали. При этом в длинных зданиях исследованы моды вертикальных колебаний как для здания в целом, так и по подъездам. Экспериментально установлено, что в зданиях существуют вертикальные колебания, являющиеся собственными колебаниями объекта или его частей, и вертикальные колебания здания, по частотам совпадающие с горизонтальными собственными колебаниями. Первый тип вертикальных собственных колебаний рассчитывается на модели с учетом вязкоупругой податливости основания и деформации перекрытий [4]. Второй тип вертикальных собственных колебаний объясняется моделью маятника с двумя степенями свободы, когда горизонтальные колебания через нелинейный член связаны с вертикальными. В этом случае горизонтальные колебания могут породить сильные вертикальные колебания, совпадающие по частоте с горизонтальными, что наблюдается в эксперименте. Крутильные колебания зданий особенно опасны при сильных сейсмических воздействиях, и при проектировании зданий принимаются меры для их исключения. Крутильные колебания формируются, когда центр тяжести и центр жесткости для здания не совпадают. Это чаще всего происходит при вытянутой или несимметричной конструкции здания. Представлены примеры набора мод крутильных колебаний для башни с малой несимметричностью конструкции. Данные эксперименты доказывают необходимость верификации расчетных моделей методом стоячих волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мукук Л.К.* Вертикальные колебания многоэтажных зданий и сооружений с учетом упругой и вязкоупругой податливости основания и деформации перекрытий // Сейсмостойкое строительство в УзССР. – Ташкент: ФАН, 1974. – С. 46–58.
2. *Расказовский В.Т., Рашидов Т.Р., Абдурашидов К.С.* Последствия Ташкентского землетрясения. – Ташкент: ФАН, 1967. – 144 с.
3. *Еманов А.Ф., Бах А.А.* Развитие алгоритмов интерпретации метода стоячих волн для исследования зданий и сооружений сложных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2019. – № 5. – С. 29–36.
4. *Еманов А.Ф., Бах А.А., Еманов Ф.А.* Изучение вертикальных собственных колебаний зданий методом стоячих волн // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 42, № 4. – С. 37–64.

РАЗВИТИЕ СЕТИ МОБИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

А.А. Брыксин
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Исследование состояния зданий, сооружений, промышленных конструкций в целом и их частей в настоящее время предполагает, в том числе, обработку информации, полученной с помощью сейсмических датчиков, расположенных как в непосредственной близости от изучаемых объектов, так и на существенных (до 20 км) удалениях. Методика изучения амплитудных спектров развивается в Сейсмологическом филиале ФИЦ ЕГС РАН в течение последнего десятилетия. За этот период времени были получены и проанализированы сейсмические данные мониторинга Саяно-Шушенской ГЭС и Новосибирской ГЭС.

Современные технологии развития цифровых сетей связи и сейсмических регистраторов (в качестве примера рассматривается «Байкал-8» [1]) дают возможность реализовать передачу сейсмических данных с места их записи на сервер СЕФ ФИЦ ЕГС РАН в режиме, близком к реальному времени. Специалистами филиала разработаны программное обеспечение и аппаратная конфигурация мобильного комплекса, позволяющего получать на удаленном сервере записи сейсмических сигналов от входящей в его состав сейсмостанции в формате MiniSEED посредством коммуникационной среды Интернет и сетевой инфраструктуры организации. Реализованное решение является малогабаритным, для его функционирования требуется подключение к электросети и обеспечение доступа в Интернет (проводное или через стандартный модем оператора связи).

Центральный сервер сбора информации в настоящее время обслуживает восемь таких мобильных комплексов, размещенных в Новосибирске, Новосибирской и Кемеровской областях. В рамках сотрудничества с ИВМиМГ СО РАН один из комплексов оборудования с мая 2021 г. установлен возле устья обводненной скважины глубиной 150 м, что позволяет сравнивать записи с двух разных типов сейсмических датчиков, геофона и гидрофона.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рыбушкин А.Ю., Семибаламут В.М., Гостев В.А.* Регистратор сейсмических сигналов / Патент RU 57914 U1. МПК G01V 1/24 // Бюл. № 30. 27.10.2006.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАВКАЗА

¹В.Ю. Бурмин, д.ф.-м.н., ¹И.Б. Шемелева,
²А.М. Аветисян, д.ф.-м.н., ²К.С. Казарян, к.ф.-м.н.
¹ИФЗ РАН, г. Москва
²ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения

На основе сейсмологических бюллетеней Кавказа за 1970–2015 гг. произведено переопределение координат гипоцентров землетрясений Кавказа. Для того, чтобы определить положение очагов землетрясений с высокой точностью, необходимо иметь достаточно детальное представление о глубинном строении земной коры и верхней мантии в изучаемом регионе. При этом желательно брать сведения о строении региона не по данным о землетрясениях, а по данным других наблюдений, например, по данным глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). Привлечение только одной скоростной колонки или одного набора годографов для определения гипоцентров землетрясений для всех станций сети не способствует точному определению положения гипоцентров землетрясений. Поэтому для определения координат гипоцентров для каждой сейсмической станции были заданы свои скоростные колонки. Основные сведения о глубинном строении земной коры под станциями были получены из данных по профилям ГСЗ [1].

Общая картина распределения гипоцентров землетрясений в земной коре Кавказа существенно отличается от распределения гипоцентров по каталогу. Результаты переопределения показывают, что эпицентры землетрясений в основном локализируются в отдельных областях, которые не связаны между собой [1, 2].

Условно можно выделить четыре основные эпицентральных области. Первая область приурочена к Джавахетскому нагорью и имеет подковообразную форму, в которую упирается западная оконечность Малого Кавказа. Вторая область тяготеет к Рачинскому району. Третья область расположена на территории Чеченской Республики с центром в непосредственной близости от г. Грозного. И, наконец, четвертая область представляет собой цепь очаговых зон, вытянутых вдоль южного склона Большого Кавказа. Установлено, что коровые землетрясения Кавказа сосредоточены в основном в узких вертикальных каналах.

Ранее считалось, что на Кавказе могут происходить землетрясения, глубина которых не превышает 150 км. Нами показано, что на Кавказе, кроме коровых землетрясений, имеют место и глубокие мантийные землетрясения до 300 км и более. Вопрос существования очагов глубоких землетрясений на Кавказе является чрезвычайно важным как с точки зрения геодинамики, так и с точки зрения сейсмической опасности и сейсмического районирования региона. Очевидно, что землетрясения в земной коре являются доминирующими в сейсмичности региона, но очевидно также, что мантийные землетрясения вносят в нее определенный вклад. То, что их доля в общем количестве землетрясений гораздо меньше, чем доля коровых землетрясений, может говорить о том, что кора более жесткая и хрупкая, чем верхняя мантия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмин В.Ю., Шемелева И.Б., Флейфель Л.Д., Аветисян А.М., Казарян К.С. Пространственное распределение коровых землетрясений Кавказа // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 45, № 1. – С. 39–48. doi: 10.21455/VIS2018.1-4
2. Бурмин В.Ю., Шемелева И.Б., Аветисян А.М., Казарян К.С. Глубокие землетрясения на Кавказе. Результаты переопределения // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2019. – Т. 46, № 2. – С. 25–36. doi: 10.21455/VIS2019.2-3

ИНТЕГРАЦИЯ РЕГИСТРАТОРА «ЕРМАК-5» В РЕГИОНАЛЬНЫЕ СЕТИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

^{1,2}П.Г. Бутырин, к.т.н., ^{3,2}Ф.Г. Верхоланцев

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²«ГИ УрО РАН», г. Пермь

³ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

Сейсмический регистратор «Ермак-5», разработанный в «ГИ УрО РАН» [1], в апреле 2019 г. получил свидетельство об утверждении типа средств измерений (ОС.С.28.004.А № 73586). Это открывает широкие возможности по использованию данного регистратора в различных видах сейсмологического мониторинга, включая объекты повышенной ответственности. К отличительным особенностям регистратора относятся: достаточный динамический диапазон; экстремально низкое энергопотребление (менее 500 мВт) при работе с шестью каналами; возможность точной привязки данных к единому времени при установке в подземных выработках; использование стандартных открытых протоколов для обмена информацией и управления. Уровень собственных шумов прибора позволяет использовать его в местах, удовлетворяющих требованиям для размещения сейсмических станций, интегрируемых в Федеральную сеть сейсмологических наблюдений [2].

Еще на этапе опытно-конструкторской эксплуатации регистратора «Ермак-5» с 2018 г. на сейсмических станциях Уральской сейсмологической сети [3] были начаты работы по интеграции данного прибора в действующую сеть регионального сейсмологического мониторинга. Для контроля и анализа надежности работы регистраторов ведется база данных жизненного цикла каждого прибора. На основе этой базы разработана система мониторинга текущей работоспособности и ретроспективного анализа процесса работы всех регистраторов, установленных в сети сейсмологического мониторинга [4]. В настоящей работе обобщен накопленный за два года опыт внедрения и эксплуатации сейсмического регистратора «Ермак-5» в различных условиях и с различными типами сейсмических датчиков. Представлены готовые аппаратные и программные решения, позволяющие на базе регистраторов «Ермак-5» оперативно разворачивать сети регионального и локального сейсмологического мониторинга.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Butyrin P.G., Verkholantsev F.G., Verkholantsev A.V., Shulakov D.Y.* Digital seismic logger "Ermak-5". Experience of development and implementation // Seismic Instruments. – 2019. – V. 55, Is. 2. – P. 117–128.
2. *Требования к сейсмическим сетям и станциям, интегрируемым в Федеральную сеть сейсмологических наблюдений.* Утв. 27.04.2017 г. – Обнинск: Фонды ФИЦ ЕГС РАН, 2017.
3. *Сейсмологический мониторинг Западного Урала* [сайт]. – URL: <http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm>
4. *Бутырин П.Г., Кичигин М.В.* Система удаленного мониторинга работоспособности сейсмических станций // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 54.

ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УНИВЕРСАЛЬНОГО ДОСТУПА К СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ: КОНЦЕПЦИЯ И ПУТИ РАЗРАБОТКИ

П.Г. Бутырин, к.т.н., А.И. Хряпина, К.В. Климов
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Наличие большого числа разнородных цифровых архивов в Центральном отделении (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск) свидетельствует о необходимости организации централизованного доступа с учетом совместимости с уже имеющимися информационными системами и сервисами в подразделениях ФИЦ ЕГС РАН, а также с мировыми сейсмологическими центрами данных. В ЦО ФИЦ ЕГС РАН была поставлена задача создания Единой информационной системы (ЕИС) – универсальной отказоустойчивой платформы для обеспечения работы сервисов публикации волновых форм, каталогов и метаданных сейсмических сетей.

При разработке концепции ЕИС были рассмотрены уже существующие и успешно развивающиеся системы, использующие как собственные разработки [1], так и платформу SeisComp3 [2, 3]. В большинстве случаев транспортным форматом для волновых форм принят формат MiniSEED, а объединение, структурирование и хранение сопроводительной информации осуществляются при помощи СУБД (PostgreSQL [1] или MySQL [2]). При этом одновременно обеспечивается хранение первичной информации в оригинальных форматах.

Для решения поставленных задач нами выбрана платформа SeisComp3 на базе операционной системы Linux Centos7 и СУБД PostgreSQL. Для хранения метаданных сейсмических станций выбран формат Dataless (SEED). Автоматизация поиска и выборки волновых форм, событий и метаданных производится на основе FDSN [4]. Установка и использование FDSN в ЦО ФИЦ ЕГС РАН показали высокую производительность и достоверность выборки. Следует отметить, что SeisComp3 включает сервис FDSN с возможностью интерактивного и автоматизированного поиска волновых форм, сейсмических событий, метаданных сейсмических станций. Пока выходные данные волновых форм публикуются в формате MiniSEED, но предполагается расширение списка выходных форматов: CSS 3.0, SAC, ASCII.

Важными составляющими ЕИС являются контроль и журналирование доступа к геофизическим данным, особенно при международном взаимодействии.

На данный момент ЕИС проходит стадию становления и начального тестирования и в течение года поступит в опытную эксплуатацию.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чеброва А.Ю., Чемарев А.С., Матвеев Е.А.** Единая информационная система сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 495–499.
2. **Шулаков Д.Ю.** Адаптация системы SeisComp3 для мониторинга сейсмичности Западного Кавказа в режиме, близком к реальному времени // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 358–362.
3. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Шевкунова Е.В.** Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии. – 2019. – № 22 (2013). – С. 139–149.
4. **Elger K., Pampel H., Biskaborn B., Lantuit H.** Open research data, Data portals and Data publication - an introduction to the data curation landscape // Polarforschung. – 2016. – V. 85, N 2. – P. 119–133.

КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В АРКТИКЕ

Ю.А. Виноградов, к.т.н., С.Б. Боровик
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

ФИЦ ЕГС РАН имеет большой опыт проведения работ в Арктике. Четыре из 12 филиалов Геофизической службы расположены в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) и проводят многолетний геофизический мониторинг в тяжелых арктических условиях [1]. К сожалению, мониторинг сейсмичности непосредственно в Арктической зоне проводится всего 17 цифровыми сейсмостанциями. Столь редкая сеть позволяет регистрировать на арктическом шельфе и в Северном Ледовитом океане только относительно сильные тектонические землетрясения с магнитудами (M) выше 4.0, приуроченные к Срединно-Арктическому поясу повышенной сейсмической активности. Более слабые сейсмические события на основном пространстве АЗРФ остаются ниже порога чувствительности сети. До начала XXI в. недостаток информации о слабой сейсмичности в Арктике не вызывал особой озабоченности, поскольку при строительстве на суше землетрясения с $M < 4.5$ принято считать безопасными для большинства сооружений. Однако исследования последних лет показали, что в условиях шельфа даже слабые землетрясения (с $M < 3$) могут провоцировать крупные оползни и сплывы слабых грунтов при уклонах рельефа дна в первые градусы.

Благодаря совместным усилиям ФИЦ ЕГС РАН, ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (г. Архангельск) и норвежского исследовательского сейсмологического центра NOR SAR, в рамках реализованного в 2012–2017 гг. Международного проекта была построена принципиально новая карта сейсмической активности Баренцевоморского шельфа и Северной Атлантики, на которой, наряду с Северо-Атлантическим поясом сильных тектонических землетрясений (аналогичным Срединно-Арктическому поясу), выявились очаговые ареалы слабой сейсмичности, обусловленной флюидодинамическими процессами в осадочном чехле шельфа (грязевой вулканизм и дегазация дна) [2]. Аналогичные процессы были зафиксированы сетью сейсмических станций на полуострове Ямал в зоне развития многолетнемерзлых пород [3]. Этот новый вид сейсмических событий в Арктике ранее никак не учитывался.

Работами на архипелаге Шпицберген было выявлено и подтверждено еще три типа слабых сейсмических событий, вызванных деструкцией ледниковых покровов на арктических архипелагах, к которым относятся растрескивание ледникового массива, подвижки тела ледника и откол краевой части ледника [4].

В докладе приводится описание характерных особенностей этих новых видов сейсмических событий, рассматриваются методики их автоматического детектирования и распознавания.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

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.
2. Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е. Газогидраты морей и океанов – источник углеводородов будущего. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2009. – 416 с.
3. Виноградов Ю.А., Пятунин М.С. Сейсмологический мониторинг на Северном Ямале. Первые результаты // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 92–95.
4. Асминг В.Э., Баранов С.В., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А., Федоров А.В. Использование инфразвукового метода для мониторинга деструкции ледников в арктических условиях // Акустический журнал. – 2016. – Т. 62, № 5. – С. 582–591. doi: 10.7868/S0320791916040031

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТОХОКУ 2011 Г. НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н., ^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²МФТИ, г. Долгопрудный

11 марта 2011 г. на северо-востоке Японии произошло сильнейшее ($M_w=9.0$) землетрясение Тохоку, завершив сейсмический цикл, длившийся без малого 1200 лет [1]. В работе проведен комплексный анализ обширного набора спутниковых геодезических, сейсмологических и геологических данных, который позволил определить геометрию поверхности разрыва, построить ансамбль моделей распределенных подвижек в очаговой зоне, исследовать возможное влияние структурных неоднородностей среды на процессы накопления и высвобождения упругих напряжений.

Установлено, что степень механической сцепленности непосредственно перед землетрясением Тохоку была относительно высока. Коэффициент межплитового сцепления достигает максимальных значений вблизи желоба, что могло являться одним из факторов, повлиявших на возникновение столь разрушительного цунами. Близ нижней грани будущей разломной зоны обнаруживаются области ослабленного сцепления, вероятно, воспрепятствовавшие распространению сейсморазрыва вниз по падению. Область максимальных смещений в сейсмическом очаге ожидаемо расположена в верхней части разломной зоны. Области наибольших смещений в эффективном постсейсмическом очаге сосредоточены вблизи нижнего края сейсморазрыва, по-видимому, маркируя участки сброса остаточных напряжений, не высвободившихся во время землетрясения.

Вопрос о реологических свойствах астеносферы относится к числу дискуссионных, однако исследование постсейсмических деформаций, вызванных сильнейшими землетрясениями, позволяет установить некоторые ограничения на механические параметры этого слоя [2]. Полученная авторами оценка эффективной максвелловской вязкости астеносферы в Северо-Восточной Японии примерно в десять раз ниже среднего значения, установленного для субдукционных зон окраинно-материкового типа. Согласно прогнозу, построенному в предположении о неизменной во времени эффективной вязкости астеносферы, преобладание постсейсмических смещений в окрестности очага прекратится примерно через 30 лет после землетрясения Тохоку.

Интегральный подход к изучению особенностей сейсмического цикла в зонах субдукции позволил установить взаимосвязи геодинамических процессов на разных стадиях цикла и исследовать влияние региональных характеристик геосреды на их протекание.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 и при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 20-17-00140.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ozawa S., Nishimura T., Suito H., Kobayashi T., Tobita M., Imakiire T.* Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake // *Nature*. – 2011. – V. 475. – P. 373–377.
2. *Muto J., Moore J.D.P., Barbot S., Iinuma T., Ohta Y., Iwamori H.* Coupled afterslip and transient mantle flow after the 2011 Tohoku Earthquake // *Science Advances*. – 2019. – V. 5, N 9: eaaw1164. doi: 10.1126/sciadv.aaw1164

ВЛИЯНИЕ РАЗЛОМНО-БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ НА СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В СУБДУКЦИОННЫХ РЕГИОНАХ

^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н., ^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н.,
^{2,3,4}Д.А. Алексеев, к.ф.-м.н., ^{2,3}Л.И. Лобковский, академик РАН
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²МФТИ, г. Долгопрудный
³ИО РАН, г. Москва
⁴ИФЗ РАН, г. Москва

Сильнейшие землетрясения, возникающие в субдукционных регионах, часто характеризуются очень протяженными очагами и возникновением длительных постсейсмических процессов вследствие высвобождения накопленных упругих напряжений [1, 2].

В данной работе рассматривается численная модель, позволяющая количественно описать процесс возникновения сильных землетрясений. Особенностью модели является учет разломно-блокового строения континентальной окраины. При описании процесса генерации землетрясений в модели учитывается возможность формирования протяженного очага за счет одновременной разгрузки нескольких смежных блоков, взаимного скольжения вдоль плоскости разлома с переменным коэффициентом трения и последующего заживления дефектов среды в условиях высокого давления.

Применимость предложенной модели показана на примере новейшей сейсмической истории Курильской зоны субдукции. Курильская островная дуга является одним из наиболее тектонически активных регионов мира вследствие очень высокой скорости конвергенции плит. Неоднородности механического сцепления межплитовой контактной поверхности в этом регионе приводят к формированию блочной структуры континентальной окраины, что подтверждается данными различных геологических и сейсмологических исследований.

Данные GPS-наблюдений, зарегистрированные на разных этапах сейсмического цикла, связанного с Симуширским землетрясением 2006 г., позволяют моделировать геодинамические процессы медленного накопления упругих напряжений и их быстрого сброса во время землетрясения и последующих постсейсмических процессов. Для построения 2D-модели генерации сильных землетрясений в центральной части Курильской гряды в работе были использованы данные о тектоническом и реологическом строении региона. В результате анализа палеосейсмических данных выявлено хорошее согласие между моделируемыми и наблюдаемыми характеристиками сейсмического цикла.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lobkovsky L.I., Kerchman V.I., Baranov B.V., Pristavakina E.I.* Analysis of seismotectonic processes in subduction zones from the standpoint of a keyboard model of great earthquakes // *Tectonophysics*. – 1991. – V. 199. – P. 211–236.
2. *Лобковский Л.И., Владимирова И.С., Габсатаров Ю.В., Гарагаиш И.А., Баранов Б.В., Стеблов Г.М.* Постсейсмические движения после Симуширских землетрясений 2006–2007 гг. на различных стадиях сейсмического цикла // *Доклады Академии наук*. – 2017. – Т. 473, № 3. – С. 359–364. doi: 10.7868/S0869565217090225

ПОСТРОЕНИЕ ДВУХЗВЕННОЙ КЛАВИШНО-БЛОКОВОЙ МОДЕЛИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЦИКЛА В КУРИЛЬСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ

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

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²МФТИ, г. Долгопрудный

Сильнейшие субдукционные землетрясения ($M \geq 8$) приводят к высвобождению упругих напряжений, накопленных за сотни или даже тысячи лет. Прогнозирование таких землетрясений, вызывающих значительный социально-экономический и экологический ущерб, является одной из наиболее важных и актуальных задач сейсмологии.

На сегодняшний день значительные успехи были достигнуты в области прогнозирования землетрясений с использованием моделей, рассматривающих сейсмический процесс в предположении о сплошности геосреды. В качестве альтернативы выступают модели, учитывающие разломно-блоковую структуру континентальной окраины, подтвержденную сейсмологическими и океанографическими исследованиями [1]. В нашем исследовании мы рассматриваем одну из таких моделей – клавишно-блоковую модель Л.И. Лобковского, которая объединяет идеи возможного синхронного разрушения нескольких смежных асперити, взаимного скольжения вдоль плоскости межплитового контакта в условиях переменного трения и последующего заживления разрушенного контактного слоя в условиях высокого давления. Эта концепция позволяет смоделировать смещение точек поверхности фронтальных сейсмогенных блоков на всех этапах сейсмического цикла. Зарегистрированное нами разнонаправленное смещение станций наблюдений на Курильских островах, а также сейсмологические и геологические данные четко указывают на то, что тыловой массив островной дуги также имеет сложную структуру и разделен на отдельные сегменты крупными разломами. В работе представлено обобщение (двухэлементное) исходной клавишно-блоковой модели с целью учета разломно-блокового строения как фронтальной, так и тыловой части островодужной системы.

Проведенное исследование показывает, что при общей хорошей согласованности результатов моделирования с данными измерений введение в исходную клавишно-блоковую модель дополнительного структурного элемента приводит к уточнению ряда характеристик сейсмического процесса, поскольку предложенный подход позволяет учесть действие более широкого спектра геодинамических процессов, а также проводить сопоставление модельных результатов с прямыми спутниковыми геодезическими измерениями [2].

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 и при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 20-17-00140.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lobkovsky L.I., Baranov B.V., Pristavakina E.I., Kerchman V.I.* Analysis of seismotectonic processes in subduction zones from the standpoint of a keyboard model of great earthquakes // *Tectonophysics*. – 1991. – V. 199, Is. 2–4. – P. 211–236.
2. *Лобковский Л.И., Владимирова И.С., Алексеев Д.А., Габсатаров Ю.В.* Двухзвенная клавишно-блоковая модель генерации сильнейших субдукционных землетрясений // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 496, № 1. – С. 78–81. doi: 10.31857/S2686739721010138

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ВЫЗВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ СУБДУКЦИОННОЙ ЗОНЕ

^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н., ^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н.,
^{1,3}Г.М. Стеблов, д.ф.-м.н., ²К.И. Муравьева
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²МФТИ, г. Долгопрудный
³ИФЗ РАН, г. Москва

Курильская зона субдукции является одной из наиболее активных континентальных окраин из-за высокой скорости конвергенции плит. Корректное изучение геодезическими методами поверхностных деформаций в Курильском регионе необходимо для исследования региональных геодинамических процессов, связанных с сейсмическими циклами и развитием зоны субдукции. Интерпретация измерений развернутого в 2006–2008 гг. Курильского геодинамического полигона связана с рядом сложностей, обусловленных небольшим количеством станций непрерывных наблюдений и их почти линейным расположением.

Обработка данных спутниковых геодезических измерений осуществляется с использованием алгоритма регрессионного анализа временных рядов смещений станций для выделения смещений, вызванных действием различных геодинамических процессов, в частности: длительным накоплением упругих напряжений (межсейсмической скоростью); практически мгновенным высвобождением значительной части накопленных напряжений во время основного толчка; действием переходных процессов [1, 2].

В силу того, что большая часть станций наблюдений была развернута уже после сильнейших Симуширских землетрясений 2006–2007 гг., временные ряды смещений содержат эффекты, вызванные действием интенсивных и длительных постсейсмических процессов, такие как упругое фрикционное развитие сейсморазрыва и вязкоупругая релаксация в астеносфере и верхней мантии. На основе данных спутниковой геодезии были построены модели этих постсейсмических процессов, которые, в свою очередь, были использованы для построения временных рядов невязок, позволяющих оценить амплитуды сезонного гармонического сигнала и вычислить величины реалистичных ошибок измерений.

В работе проведено исследование влияния разломно-блокового строения островной дуги на наблюдаемые закономерности деформации на межсейсмическом, косейсмическом и постсейсмическом этапах сейсмического цикла с использованием алгоритмов кластерного анализа. Кроме того, были проведены дополнительная проверка алгоритма обработки данных путем построения модели распределенной подвижки в очаге Симуширского землетрясения 2006 г. и ее сравнение с аналогичными моделями, полученными на основе спутниковых геодезических данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tian Y., Shen Z.-K.* Extracting the regional common-mode component of GPS station position time series from dense continuous network // Journal of Geophysical Research. Solid Earth. – 2016. – V. 121. – P. 1080–1096.
2. *Wang X., Cheng Y., Wu S., Zhang K.* An enhanced singular spectrum analysis method for constructing nonsecular model of GPS site movement // Journal of Geophysical Research. Solid Earth. – 2016. – V. 121. – P. 2193–2211.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ О РЕДКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В АЗОВСКОМ И ЧЁРНОМ МОРЯХ

И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н., Е.А. Бабкова,
Л.Н. Королецки, Е.А. Селиванова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Сейсмическая сеть станций в западной части Северного Кавказа за последнее десятилетие получила существенное развитие. По оценкам, связанным с анализом шумов на 20 станциях этой зоны, как минимум тремя станциями могут быть зарегистрированы землетрясения с $K_R=7.5$ на всей территории, а в отдельных ее частях – с $K_R=5.5$ [1]. Развитие сети повлияло и на возросшие возможности по регистрации землетрясений в периферийных частях региона Северного Кавказа, как, например, северная часть Азовского моря и две зоны Чёрного моря – Западно-Черноморская и Восточно-Черноморская впадины.

Одно из редких землетрясений было зарегистрировано 15 октября 2018 г. в $10^{\text{h}}42^{\text{m}}$ с $M=3.9$ в Азовском море. Его эпицентр был приурочен к субширотному Азовскому валу, разделяющему структуры древней Восточно-Европейской платформы и более молодой Скифской плиты. Глубина гипоцентра определена в интервале 17–18 км. Построен механизм очага этого землетрясения. Он представлен взбросом, одна из нодальных плоскостей совпадает по простиранию с северной границей вала. Землетрясение произошло под действием сил сжатия, направленных с юга–юго-востока, что соответствует геодинамической картине этого района.

Не менее интересной стала регистрация нескольких землетрясений в Западно-Черноморской впадине (ЗЧВ) (08.05.2019 г., 04.12.2019 г. и 12.04.2020 г.) и одного 29.07.2019 г. – в южной части Восточно-Черноморской впадины (ВЧВ). В соответствии с исследованиями строения литосферы Черноморского бассейна [2], эти впадины имеют схожие черты по мощности осадков, возросшей до 10–16 км относительно 2 км во всем Чёрном море. В то же время они имеют различные реологические свойства мантийной литосферы, выражающиеся в наличии высокоскоростных блоков разной мощности и на разных глубинах. Это находит отражение в сейсмических данных названных землетрясений и, соответственно, в результатах их интерпретации. Полученные значения глубин гипоцентров трех землетрясений в ЗЧВ составили 20, 26 и 33 км, что согласуется с более ранними данными из [2]. Отношение V_P/V_S для этой зоны составило в среднем 1.78, что значительно отличается от $V_P/V_S=1.73$ для ВЧВ. Глубины очагов не превышают 18 км как в Азовском море, так и на периферии ВЧВ. Следовательно, можно заключить, что землетрясения в ЗЧВ являются мантийными, так как в обеих впадинах Черноморского бассейна граница Мохоровичича отмечается на глубине 20 км, а землетрясения в ВЧВ и на Азовском валу являются проявлением коровой сейсмичности.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Дягилев Р.А., Мехрюшев Д.Ю., Зверева А.С. Оценка регистрационных возможностей сейсмической сети в западной части Северного Кавказа через геометрию сети и локальный уровень микросейсмических шумов // Сейсмические приборы. – 2020. – Т. 56, № 3. – С 35–60. doi: 10.21455/si2020.3-3
2. Яновская Т.Б., Гобаренко В.С., Егорова Т.П. Строение подкоровой литосферы Черноморского бассейна по сейсмологическим данным // Физика Земли. – 2016. – № 1. – С. 15–30. doi: 10.7868/S0002333716010105

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ

^{1,2}В.И. Герман, к.т.н.

¹ГПКС «КНИИГиМС», г. Красноярск

²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Рассмотрены функции распределения для временных интервалов между последовательными событиями ΔT , минимальных расстояний между ними ΔD_{\min} [1, 2], которые отражают временную и пространственную структуру сейсмичности. Для этого использованы каталоги Алтае-Саянского, Байкальского, Камчатского и Курило-Охотского регионов, а также каталоги Южной Калифорнии (США) и Токтогульского района (Республика Кыргызстан).

Было показано, что распределения ΔT и ΔD_{\min} хорошо аппроксимируются функциями распределения Вейбулла $F(x)=1-\exp(-Ax^k)$, где A – масштабный параметр, а k – параметр формы [1].

Установлено, что при варьировании масштабного интервала отобранных для рассмотрения землетрясений функций распределения ΔT и ΔD_{\min} с точностью до масштабного параметра остаются постоянными в рамках рассматриваемого региона [1, 2]. При этом статистически значимые отклонения в типе распределения проявляются только в случае использования непредставительных данных (слабых землетрясений). Контроль за изменением типа распределения ΔT и ΔD_{\min} позволяет получать оценки представительности каталогов землетрясений без использования предположения о линейности графика повторяемости.

При варьировании временных и пространственных окон тип распределения ΔD_{\min} с точностью до масштабного параметра остается постоянным, но в случае характеристики ΔT он меняется для Камчатского и Курило-Охотского регионов, а также Южной Калифорнии [1, 2].

На примере Курило-Охотского региона показано, что изменение типа распределения ΔT (изменение параметра формы распределения Вейбулла – k) при изменении пространственной области хорошо коррелирует с тектоническим строением региона. Областям на контакте плит и в районе действующих вулканов соответствуют зоны с низкими значениями k . Изменение типа распределения ΔT при изменении рассматриваемого временного интервала связывается с мощными афтершоковыми последовательностями.

Дополнительно на примере Алтае-Саянского региона рассмотрено использование совместного распределения временных и пространственных характеристик структуры сейсмичности. Оно хорошо аппроксимируется произведением двух функций распределения Вейбулла и сохраняет свой вид для разных участков региона с точностью до масштабного параметра, связанного с их сейсмической активностью A_{10} [1]. Предложен способ выделения пространственно-временных областей с повышенной вероятностью возникновения сильных землетрясений с использованием полученного распределения [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Герман В.И.* Единая теория подобия структуры сейсмичности: статистический подход. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2010. – 80 с.
2. *German V.I.* Unified scaling theory for distributions of temporal and spatial characteristics in seismology // *Tectonophysics*. – 2006. – V. 424, N 3–4. – P. 167–175.

СВЯЗЬ МАГНИТУД И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КЛАССА ДЛЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

^{1,2}В.И. Герман, к.т.н.

¹ГПКК «КНИИГиМС», г. Красноярск

²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Рассматриваются связи между магнитудами и значениями энергетического класса, определенными различными сейсмологическими агентствами, необходимые для формирования сводного унифицированного каталога сейсмических событий. В качестве исследуемой области взята 600-километровая зона вокруг г. Красноярска, охватывающая центральные и южные районы Красноярского края, территорию Хакасии и Кемеровской области, большую часть Тувы, а также частично районы других сибирских регионов.

Необходимость формирования сводного унифицированного каталога возникает при уточнении сейсмической опасности, а также при исследованиях закономерностей сейсмичности. В качестве базовой характеристики силы сейсмических событий была взята магнитуда M_S GSRAS, определяемая ФИЦ ЕГС РАН в [1] и широко используемая для оценки сейсмической интенсивности на основе уравнения Н.В. Шебалина.

Исходными данными послужили: каталог землетрясений Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН (1962–2017 гг.), сформированный в основном по публикациям в сборниках «Землетрясения СССР» и «Землетрясения Северной Евразии», каталог ГПКК «КНИИГиМС» (2000–2020 гг.), Специализированный каталог землетрясений (СКЗ), созданный в ходе составления карт ОСР-2016, а также данные бюллетеня ISC. Для определения связей между различными магнитудно-энергетическими шкалами использовался метод ортогональной регрессии, предполагая линейную связь между ними. В случае близости коэффициента угла наклона связи к единице зависимости упрощались и учитывался только сдвиг между рассматриваемыми величинами. Предложено использовать следующие зависимости:

$$\begin{aligned}M_S \text{ GSRAS} &= M_S \text{ ISC} + 0.10, & n=26, & 3.0 \leq M_S \text{ GSRAS} \leq 6.7; \\M_S \text{ GSRAS} &= M_S \text{ IDC} + 0.31, & n=17, & 3.0 \leq M_S \text{ GSRAS} \leq 6.7; \\M_S \text{ GSRAS} &= MLH_{\text{СКЗ}} - 0.02, & n=27, & 3.0 \leq M_S \text{ GSRAS} \leq 6.7; \\M_S \text{ GSRAS} &= 0.584 \cdot K_{\text{ASGSR}} - 2.87, & n=102, & 3.0 \leq M_S \text{ GSRAS} \leq 6.7; \\M_S \text{ GSRAS} &= 0.556 \cdot K_{\text{KRAR}} - 2.66; \\M_S \text{ GSRAS} &= 1.02 \cdot ML_{\text{ASGSR}} - 1.47,\end{aligned}$$

где после типа магнитуды или энергетического класса указан код сейсмологического агентства: GSRAS – ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск), ISC – Международный сейсмологический центр (г. Татчем, Великобритания), IDC – Международный центр данных СТВТО (г. Вена, Австрия), ASGSR – АСФ ФИЦ ЕГС РАН (г. Новосибирск), KRAR – ГПКК «КНИИГиМС» (г. Красноярск). $MLH_{\text{СКЗ}}$ – магнитуда из Специализированного каталога землетрясений, n – число пар для установления связи, а также указан диапазон значений магнитуды M_S GSRAS в использованных данных. При построении зависимости M_S GSRAS от K_{ASGSR} использовались данные по M_S ISC и M_S IDC, переведенные в M_S GSRAS.

В связи с короткими рядами наблюдений для K_{KRAR} и ML_{ASGSR} зависимости для них были получены с помощью вспомогательных величин, связывающих их с K_{ASGSR} :

$$K_{\text{ASGSR}} = K_{\text{KRAR}} - 0.37 \text{ и } K_{\text{ASGSR}} = 1.823 \cdot ML_{\text{ASGSR}} + 2.122.$$

Важно отметить, что широко используемая зависимость Т.Г. Раутиан $M = (K - 4.0) / 1.8$ приводит к завышению магнитуды на 0.23 единицы и интенсивности на 0.35 балла.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сейсмологический бюллетень* (сеть телесеизмических станций) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/ (дата обращения 10.04.2021).

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ГРУППИРОВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

^{1,2}Е.И. Герман, ^{1,2}Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н., ^{1,2}Д.П.-Д. Санжиева
¹БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ
²ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

Выделение групп землетрясений и подразделение на форшоковые и афтершоковые серии и роевые совокупности позволяют более качественно выполнять оценку статистических параметров сейсмичности (путем исключения из каталога аномалий, порожденных элементами кластеров), выявлять временные структуры в сейсмическом потоке (периодичность и тренды). Решению задачи анализа группирования сейсмических событий и разработке методик кластеризации посвящены работы [1, 2]. Нами было выполнено применение известных методов кластеризации к каталогу землетрясений центральной части Байкальского рифта [3].

Следует отметить, что для эффективного группирования сейсмических событий необходимо учитывать одновременно временную и пространственную близость очагов, энергетический класс и радиус поиска. Поэтому нами была выполнена попытка разработки собственной методики кластеризации.

В качестве тестовой выборки был использован каталог событий, произошедших в период с 2001 по 2012 г. на территории, ограниченной координатами 51.7–53.7°N и 106.1–109.1°E. Все события были построены в трехмерном фазовом пространстве, в котором оси X и Y были переведены в размерность км, а по оси Z была отложена шкала времени, которая нормировалась таким образом, чтобы величина медианного расстояния между ближайшими событиями в пространстве равнялась такой же величине для медианных промежутков между ближайшими событиями по времени. По всему фазовому пространству был выполнен расчет распределения расстояний до ближайших соседей. На кривой распределения были выявлены два пика, которые интерпретировались как средние расстояния между ближайшими событиями – элементами кластеров и как средние расстояния между ближайшими событиями для нормальной сейсмичности. Расстояние, соответствующее точке между этими пиками, было использовано как радиус поиска для алгоритма кластеризации методом ближайших соседей. В работе алгоритма при вычислении расстояний между событиями учитывались также значения геометрических размеров очагов.

В результате применения новой методики основная масса выделенных групп практически совпадала с результатами проведенной ранее работы, однако была выявлена достаточно большая группа кластеров в южной части зоны поиска, которая раньше не выделялась.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mesimeri M., Karakostas V., Papadimitriou E., Tsaklidis G.* Characteristics of earthquake clusters: Application to western Corinth Gulf (Greece) // *Tectonophysics*. – 2019. – V. 767. doi: 10.17632/xgkg6tns73.1
2. *Zaliapin I., Ben-Zion Y.* A global classification and characterization of earthquake clusters // *Geophysical Journal International*. – 2016. – V. 207, Is. 1. – P. 608–634.
3. *Санжиева Д.П.-Д., Тубанов Ц.А.* Анализ группирования землетрясений Центрального Байкала // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: Материалы V Всероссийской молодежной научной конференции. – Улан-Удэ, 2019. – С. 76–77.

ВЗРЫВЫ БОЕПРИПАСОВ ОКОЛО Г. АЧИНСКА, И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗБУЖДАЕМЫХ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ

¹Е.А. Гладышев, ¹А.В. Дураченко, ¹Е.В. Шевкунова,
^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н.,
¹Д.Г. Корабельщиков, ¹В.Г. Подкорытова, ¹И.А. Антонов
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В данной работе используются несанкционированные взрывы, произошедшие на складе боеприпасов и записанные региональной сетью станций. Взрывы произошли на складе с малыми размерами (в пределах 100 м) относительно удаления от станции (70 км). В данном случае можно считать источник точечным с многократным повторением. Записи с высоким соотношением сигнал/ шум были получены на удалениях до 500 км от источника. Первая рассмотренная задача относится к точности определения координат источника на данной площади. Взрывы выполняют роль калибровочных сигналов. Координаты известны с точностью до 100 м, источники на дневной поверхности (глубина 0). При скоростной модели для Алтае-Саянской горной области мы имеем облако смещенных от склада определений координат, также присутствует разброс. Применив скоростную модель для платформенных условий (Томская область), удалось получить облако определений координат источников, охватившее склад и его окружение. Полностью избежать разброса не удалось. Вторая задача – это динамическая повторяемость записей взрывов. Исследования сейсмического эффекта взрывов позволяют сформировать представление о затухании волн взрывов в пространстве и их повторяемости. В нашем случае более всего интересна повторяемость сейсмограмм множества взрывов в одном и том же месте. Важным моментом является вопрос о том, какой моделью описывается взрыв, вблизи поверхности это должна быть вертикальная сила. Из горного дела известно, что распределенный по времени взрыв – это управление сейсмическим эффектом и спектром возбуждаемых колебаний [1]. При короткозамедленном взрывании и при регистрации на больших удалениях от источника существенно изменяется динамика волн за счет изменения диаграммы направленности источника [2–4]. Исследование повторяемости волновых полей выполнено путем расчета автокорреляционных функций сейсмограмм взрывов для каждой станции и расчета взаимно корреляционных функций одной сейсмограммы с остальными на этой же станции. При расчете взаимно корреляционных функций на всю длину записи получена очень низкая корреляция – менее 0.5 в максимуме. Взрывы боеприпасов могут рассматриваться как сейсмическое воздействие на среду с существенно отличающимися характеристиками направленности излучения волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Друкотаный М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах. – М.: Недра, 1973. – 402 с.
2. Еманов А.Ф. Влияние короткозамедленного взрывания на сейсмограммы промышленных взрывов // Геология и геофизика. – 1982. – № 9. – С. 81–89.
3. Еманов А.Ф., Шаров Н.В. Использование промышленных взрывов при ГСЗ // Геофизический журнал. – 1987. – Т. 9, № 4. – С. 35–43.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Ворона У.Ю., Серёжников Н.А. Сейсмический эффект промышленных взрывов и основные закономерности формирования и развития сейсмичности около шахт и разрезов Кузбасса // Вестник ВостНИИ. – 2018. – № 3. – С. 57–72.

ВЗАИМНО-КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ФУНКЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 25 МАРТА 2020 Г. ВБЛИЗИ КУРИЛЬСКОЙ ГРЯДЫ

¹С.В. Горовой, ²С.Б. Наумов
¹ДВФУ, г. Владивосток
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Владивосток

Для оценки координат гипоцентра и эпицентра, а также построения моделей сейсмических процессов, происходящих вблизи очагов землетрясений, в большинстве случаев выполняется временной анализ сейсмических сигналов, одновременно зарегистрированных несколькими сейсмическими станциями. Зачастую координаты эпицентра определяются путем тригонометрических построений по разностям времен вступления P -волн и S -волн на записях сейсмических приемников, координаты которых известны, и использования регионального годографа скоростей P - и S -волн [1, 2]. Этот способ является наглядным и понятным с физической точки зрения, но в нем используется лишь часть информации, содержащейся в сейсмических сигналах (фактически только моменты прихода P - и S -волн). Как неоднократно отмечалось рядом авторов, для повышения точности оценивания координат и построения моделей сейсмических процессов, происходящих вблизи гипоцентра и эпицентра землетрясений, могут быть использованы (с известной долей скептицизма) методы обработки сигналов, используемых в радиолокации и гидролокации [3, 4].

25 марта 2020 г. в 02^h49^m вблизи Курильской гряды произошло землетрясение с магнитудой $M_s=7.5$. Координаты эпицентра: 48.99°N, 157.63°E.

В данной работе описаны результаты анализа временной изменчивости максимумов взаимно-корреляционных функций сейсмических сигналов, зарегистрированных до, во время и после названного землетрясения сейсмическими станциями РЕТ (г. Петропавловск-Камчатский), YSS (г. Южно-Сахалинск), PSTR (пос. Посыет) и SKR (г. Северо-Курильск), находящихся на расстояниях 380, 1140, 2210 и 210 км от эпицентра соответственно. Частота дискретизации анализируемых сейсмических сигналов после децимации составляла 20 Гц. Оценивание взаимно-корреляционных функций выполнялось с использованием специально разработанного программного обеспечения в нескольких частотных полосах в диапазоне 0.005–9.5 Гц при времени накопления от 0.5 до 30 мин. В диапазоне 1–6 Гц максимальные значения взаимно-корреляционных функций сейсмических сигналов станций РЕТ и YSS до и после землетрясения не превышали 0.05, а непосредственно во время землетрясения в течение нескольких минут наблюдалась устойчивая взаимная корреляция данных сигналов.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lay T., Wallace T.C.* Modern global seismology. – San Diego, USA: Acad. Press., 1995. – 517 p.
2. *Яновская Т.Б.* Основы сейсмологии. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2008. – 258 с.
3. *Аки К., Ричардс П.* Количественная сейсмология: Теория и методы. В 2-х т. Т. 2. – М.: Мир, 1983. – 360 с.
4. *Ландер А.В., Пинегина Т.К.* Моделирование очагов сильнейших палеоземлетрясений Южной Камчатки // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Шестой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 221–225.

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

^{1,2}Н.Н. Гриб, д.т.н., В.С. Имаев, д.г.-м.н., ¹Г.В. Гриб, к.г.-м.н.
¹ТИ (ф) СВФУ, г. Нерюнгри
²АН РС(Я), г. Якутск

В связи с высокой природной сейсмичностью Южно-Якутского региона импульсные нагрузки при производстве промышленных взрывов оказывают прямое и косвенное воздействие на состояние верхней части земной коры. Прямое воздействие осуществляется за счет непосредственного влияния нелинейных смещений, вызванных взрывной волной, и образования новых нарушений. Косвенные воздействия происходят за счет активизации структурных элементов на геологических контактах, что приводит к появлению очагов техногенной сейсмичности. Очаги наведенной сейсмичности либо приурочены к пункту взрыва, либо располагаются вдоль тектонических структур, пересекающих карьерные поля. Техногенное воздействие на геологическую среду трансформировало самостоятельный локальный сейсмический процесс, под действием взрывов инициировался локальный поток сейсмических событий. Фрагментарно активизировались приповерхностные слои земной коры в зоне динамического влияния активных разломов. Под воздействием взрывов происходит изменение количества сейсмических событий и изменение среднего уровня высвобожденной энергии. Импульсные нагрузки на геологическую среду приводят к пространственному перераспределению очагов малоэнергетических ($K < 7$) землетрясений [1].

С 2003 г. начаты работы по открытой добыче угля на малых угольных разрезах. Общее энергетическое воздействие их на геологическую среду к 2007 г. составило более 10% от воздействия Нерюнгринского угольного разреза [1]. Однако ввод в эксплуатацию в 2013 г. разреза «Восточная Денисовка» привел к резкому увеличению количества техногенных землетрясений, до 30 в течение 10 час после взрыва. По результатам инструментальных наблюдений было установлено, что эпицентры землетрясений, инициированных взрывами, производимыми в разрезе «Восточная Денисовка», в пространстве не совпадают с эпицентрами землетрясений, инициированными взрывами в разрезе «Нерюнгринский». По результатам мониторинга взрывов и местных землетрясений установлен новый очаг землетрясений, связанный со взрывами на разрезе «Восточная Денисовка».

Данный участок был детально проанализирован с учетом тектонического строения. Установлено, что наведенная сейсмичность связана с тектоническими структурами, вытянутыми с севера на юг, и они пересекают карьерное поле разреза «Восточная Денисовка».

Таким образом, воздействие взрывов на геологическую среду на вновь открывшемся угольном разрезе вызывало сейсмический отклик в виде изменения уровня сейсмической активности, активизируя ранее не проявлявшие себя тектонические структуры, находящиеся в зоне влияния взрывных работ разреза «Восточная Денисовка».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гриб Г.В., Гриб Н.Н.* Проявление техногенной сейсмичности в Южной Якутии // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 1 (3). – С. 636–640.

О СПОСОБЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

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

Исследование посвящено развитию разрабатываемых в ФИЦ ЕГС РАН методов неразрушающего контроля состояния сооружений и оборудования и основано на результатах анализа сейсмических данных, полученных при мониторинге работы главной нагнетательной вентиляционной установки шахты «Распадская – Коксовая».

В результате спектрального анализа данных определены основные характеристики колебаний, связанных с работой вентиляционной установки. Колебания имеют вид монохроматических колебаний с постоянными частотами, кратными оборотной частоте вращения установки, у которых абсолютные значения амплитуд различаются. Анализ спектров записей со всех пунктов регистрации показал, что наибольшая амплитуда (при работе установок) наблюдается для монохрома с частотой 100 Гц («лопастная» частота).

Создана новая методика обработки и анализа регистрируемых трехкомпонентных колебаний, основанная на интерпретации пересчитанных в сферическую систему координат параметров R , θ и φ . Показано, что с изменениями различных факторов, влияющих на работу вентиляционной установки (давление, режимы работ, поток воздуха и т.д.), происходит изменение данных параметров и их стабилизация на определенном уровне, что дает возможность, набрав статистику, создать систему контроля состояния любого вращающегося оборудования.

Для проверки предложенной технологии было выполнено физическое моделирование. Была создана модель, состоящая из вентилятора, кожуха, воздухопроводов и заслонки, и проведена серия экспериментов, включающих различные условия контакта с подстилающей поверхностью, различное положение перекрывающей поток воздуха заслонки, деформацию одной из лопастей вентилятора. Результаты показали, что, как и при работе шахтной вентиляционной установки, при снижении потока воздуха происходит смещение параметров колебаний R , θ и φ в пространстве сферических координат.

Предварительные результаты обработки данных, полученных при исследовании гидроагрегатов Саяно-Шушенской ГЭС [1, 2], также показывают смещение параметров колебаний R , θ и φ и их дальнейшую стабилизацию на фиксированных значениях при изменении нагрузок на гидроагрегате.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Громыко П.В., Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Курзин В.Б. Изменения собственных колебаний плотины Саяно-Шушенской ГЭС при работе старых и новых гидроагрегатов // Геофизические методы исследования земной коры: Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева. – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 125–128.
2. Громыко П.В., Селезнев В.С., Лисейкин А.В. Оценка временной эксплуатационной характеристики гидроагрегатов Саяно-Шушенской ГЭС с помощью анализа динамических воздействий, возникающих в гидротехнических сооружениях Саяно-Шушенской ГЭС на время тестовых испытаний гидроагрегата № 10 // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири: Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием (21–25 октября 2013 г., г. Новосибирск). – Новосибирск: Изд-во Полиграфика, 2013. – С. 137–140.

ВЕРХНЕ-ФИАГДОНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 26 ЯНВАРЯ 2020 Г.

¹И.Ю. Дмитриева, ¹А.А. Саяпина,
¹С.С. Багаева, ²¹С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.
¹СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Территория Республики Северная Осетия–Алания на сегодняшний день характеризуется умеренным проявлением сейсмичности. Здесь регистрируются в основном слабые сейсмические события. Верхне-Фиагдонское землетрясение с энергетическим классом $K_p=11.2$, произошедшее 26 января 2020 г., стало сильнейшим инструментально зарегистрированным землетрясением с момента создания на территории республики сети сейсмологических наблюдений.

По данным сетей сейсмических станций NOGSR, OBGSR и DAGSR получено следующее решение параметров землетрясения: $\varphi=42.69^\circ\text{N}$, $\lambda=44.15^\circ\text{E}$, $h=6$ км, $K_p=11.2$. Его эпицентр находился в горной местности на юге республики в 20 км от села Верхний Фиагдон и в 9 км от российско-грузинской границы. Очаг рассматриваемого землетрясения расположен вблизи зоны ВОЗ Главного хребта [1], для которой теоретически максимально возможная магнитуда равна $M_{\max}=6.2$. По данным [2], в этой зоне ранее землетрясения с магнитудами $M>6.0$ не фиксировались. В более детальном плане землетрясение произошло в сеймотектоническом блоке, расположенном между Главным Кавказским и Адайком-Казбекским разломами. Механизм очага построен по знакам первых вступлений продольных волн на 20 станциях. Согласно полученному решению, землетрясение возникло в верхней части земной коры под действием сжимающих напряжений, тип движения – взбросо-сдвиг, что согласуется с кинематической характеристикой зоны Главного хребта.

Верхне-Фиагдонское землетрясение характеризуется отсутствием заметного афтершокового процесса, однако анализ имеющихся волновых форм ближайшей сейсмической станции показал наличие последовательности слабых сейсмических событий. При ближайшем рассмотрении записей эти события были отнесены к событиям типа «возможно, афтершок».

Макросейсмический эффект землетрясения был изучен в 26 населенных пунктах. Оценка интенсивности проводилась по реакции людей и предметов быта на основе шкалы ШСИ-17 [3]. Максимальная интенсивность сотрясений составила 4–5 баллов.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рогожин Е.А., Габсатарова И.П., Погода Э.В.* Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия–Алания // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции, посвященной 10-летию выпуска сборника научных трудов «Землетрясения Северной Евразии». – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 243–249.
2. *Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В.* (отв. сост.). П б. Кавказ [50–1974 гг., $M\geq 4.0$, $I_0\geq 5$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
3. *ГОСТ Р 57546–2017.* Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШКАЛЫ ШСИ-2017 ПРИ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

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

Введение в 2017 г. нового стандарта для описания макросейсмических проявлений землетрясений [1] привело, с одной стороны, к большему упорядочиванию и систематизации процесса сбора и анализа макросейсмической информации с тесной увязкой ее с физическими параметрами сотрясений, с другой стороны, это вызвало некоторые вопросы и недопонимания, иногда доходящие до полного неприятия новой шкалы сейсмической интенсивности. Последнее имеет место, скорее, в силу консервативности человеческого мышления и обусловлено привычкой к определенным инструментам (шкала MSK-64 [2] или ее последующие модификации), бывших в обиходе среди специалистов в течение многих лет и даже десятилетий. Также негативные оценки новой шкалы связаны с неоднозначной совместимостью со многими нормами в строительной отрасли, которые в настоящее время претерпевают значительные изменения.

ШСИ-2017 относится к категории шкал интервалов, тогда как MSK-64 ближе к шкале порядка, или рангов (классификация по принципу «больше – меньше»). Это главное преимущество ШСИ-2017, позволяющее считать ее внутренне равномерной, в результате чего в ней допустимы все арифметические операции – нахождение среднеарифметического значения и стандартного отклонения, интерполяция и экстраполяция приращений интенсивности землетрясений [1]. Данное качество шкалы достигается за счет отказа от каких-либо допущений и предположений и перехода к статистическим оценкам при классификации макросейсмических проявлений. Все макросейсмические проявления в шкале делятся на группы (категории-сенсоры), в каждой из которых объекты могут иметь определенную степень реакции. Анализируя степени реакции объектов вместе с частотой их проявления, можно получить наиболее объективные и точные оценки сейсмической интенсивности как в рамках одной категории-сенсора, так и по их совокупности. Важнейшим преимуществом новой шкалы является четкая увязка баллов с параметрами движения грунта (ускорение, скорость, смещение, продолжительность колебаний) в виде зависимостей, которые получены на основании реальных записей сильных движений.

Данная работа основывается на результатах практического применения шкалы ШСИ-2017 при макросейсмических обследованиях сильного землетрясения на Южном Урале (г. Катав-Ивановск, 04.09.2018 г., $M_w=5.0$) и служит примером положительного опыта ее использования, приведшего к наиболее объективным оценкам произошедших сотрясений. Несмотря на все преимущества новой шкалы, процесс преобразования макросейсмических проявлений в реакцию объектов достаточно громоздок и требует разработки специальных средств и иногда участия специалистов. Автором предлагается новая форма анкеты (печатная и электронная), позволяющая использовать все нововведения ШСИ-2017 и облегчающая сбор информации о землетрясении и его последствиях даже среди населения, не имеющего специальных знаний и опыта.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ Р 57546–2017.** Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 2017-07-19. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
2. **Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ И ШУМОВ В РАЙОНЕ Г. ЖЕЛЕЗНОГОРСКА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ³Е.Е. Матвеев,
¹Е.В. Шевкунова, ¹В.Г. Подкорытова, ¹Н.А. Серёжников,
¹Д.Г. Корабельщиков, ¹С.А. Елагин, ¹Е.А. Гладышев,
¹И.А. Антонов, ¹А.В. Дураченко, ¹В.В. Янкайтис
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск
³ФГУП «ГХК», г. Железнодорожск

В 2017 г. северо-восточнее г. Железнодорожска была установлена малоапертурная локальная сейсмическая группа из семи сейсмических станций. Каждая сейсмическая станция состоит из регистратора «Байкал-8», велосиметра СПВ-3К, системы бесперебойного питания и комплекта передачи данных. Цель установки данной группы – мониторинг потенциально неблагоприятных сейсмических процессов.

При обработке записей станций локальной сейсмической группы в районе г. Железнодорожска были выявлены цуги колебаний, превышающие фоновый сейсмический уровень на всех пунктах наблюдения. Для автоматического поиска подобных событий на непрерывных сейсмических записях со станций сейсмической группы был применен алгоритм STA/LTA [1]. Записи каждой горизонтальной компоненты станций были отфильтрованы фильтром Баттерворта второго порядка в трех полосах частот: 1–3, 1–15 и 10–40 Гц. Затем отфильтрованные записи были пропущены через триггер STA/LTA. Срабатывания триггера STA/LTA на разных станциях были проассоциированы с целью выявить вероятное сейсмическое событие и исключить случайные срабатывания триггера из-за наличия шума на записях. Ассоциация производилась в случае, если на станциях время между срабатываниями триггера отличалось не более, чем на 20 секунд.

Обнаруженные события разделены на группы по параметрам фильтрации, в рамках которой они выделяются на записях, а также по продолжительности и серийности колебаний. Всего зарегистрировано 300 таких событий. Рассчитаны текущие спектры, функции автокорреляции и функции взаимной корреляции. С помощью частотно-волнового анализа [2, 3] были определены относительная мощность, абсолютная мощность, обратный азимут и медленность сигналов. Описаны характеристики данных событий, сделаны выводы о природе и месте их формирования.

В 30-километровой зоне от группы станций построены карты эпицентров землетрясений малых энергий. В 500-километровой зоне, совместно с региональной сетью станций, уточнены карты эпицентров землетрясений и положения зон ВОЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Trnkoczy A.* Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm // New manual of seismological observatory practice (NMSOP). IASPEI / Ed. P. Bormann. – Potsdam, Germany: GeoForschungsZentrum, 2002. – Is. 8.1.
2. *New manual of seismological observatory practice* (NMSOP-2). IASPEI / Ed. P. Bormann. – Potsdam, Germany: GFZ German Research Centre for Geosciences, 2012. – URL: <http://nmsop.gfz-potsdam.de>
3. *Capon J.* Signal processing and frequency-wavenumber spectrum analysis for a large aperture seismic array // Methods in Computational Physics / Ed. B.A. Bolt. – Academic Press, 1973. – P. 2–59.

ВЛИЯНИЕ КРУПНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ СЕЙСМИЧНОСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

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

Для Алтае-Саянской горной области закономерным является существование длительных и интенсивных афтершоковых процессов. Характеристики крупнейших землетрясений и условия их возникновения исследовались в [1–3]. Формирование и эволюция сейсмичности увязывается с воздействием Индо-Евразийской коллизии. При этом фоновая сейсмичность концентрируется в горном обрамлении впадин, а крупнейшие землетрясения оказывают разрушающее действие на их окраины [2]. В [4] было показано, что эволюция тектонических процессов в Центральной Азии осуществляется по «принципу домино» от блока к блоку.

Крупнейшим землетрясением инструментального периода является Чуйское землетрясение 2003 г. с $M_s=7.3$ [2]. Данная работа посвящена дальнейшим исследованиям развития сейсмического процесса в пространстве. Выявлены и изучены сейсмические активизации, вызванные Чуйским землетрясением. На протяжении около шести лет вся сейсмическая активность была сосредоточена в линейно вытянутой афтершоковой области. Это был период устойчивой активности активизированных Чуйским землетрясением разломов. Следующий период – это активизация смежных структур со смещением максимума сейсмической активности. Начиная с 2018 г., отчетливо проявляются пятна сейсмической активности по окружности с радиусом около 200 км. С учетом блокового строения Горного Алтая было выполнено компьютерное моделирование эволюции сейсмического процесса после Чуйского землетрясения [5]. Показано, что сейсмичность должна продвинуться в северо-восточном направлении. Цепь слабых землетрясений, регистрируемых в последние годы, подтверждает справедливость расчетной модели.

Часть активизированных зон охватывают эпицентры крупных землетрясений прошлого [1, 3], а часть – это структуры, еще не проявившие себя в виде эпицентров крупных землетрясений. Показано, что возможны крупные землетрясения на Алтае как следствие влияния одного крупного землетрясения на активизацию блочной структуры с разных направлений.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рогожин Е.А., Платонова С.Г.* Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – 130 с.
2. *Еманов А.А., Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Фатеев А.В.* Об изменении сейсмического режима в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 1963–2016 гг. / Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 41–45.
3. *Деев Е.В.* Зоны концентрации древних и исторических землетрясений Горного Алтая // Физика Земли. – 2019. – № 3. – С. 71–96.
4. *Буслов М.М.* Строение и эволюция Центрально-Азиатского горного пояса в кайнозое: эффект дальнего тектонического воздействия от Индо-Евразийской коллизии // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Том 1. Материалы ЛП Тектонического совещания / Отв. ред. К.Е. Дегтярев. – М.: ГЕОС, 2020. – С. 111–115.
5. *Бабичев А.В., Новиков И.С., Полянский О.П., Коробейников С.Н.* Компьютерное моделирование деформирования земной коры Горного Алтая в кайнозое // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 2. – С. 137–151.

НАВЕДЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В КУЗБАССЕ

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

^{1,2}А.В. Фатеев, к.ф.-м.н., ¹Е.В. Шевкунова

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Горнодобывающая промышленность бурно развивается в соответствии с требованиями технического прогресса, вследствие чего существенно возрастают воздействие человека на геосреду и ее отклик. Это ставит под угрозу обеспечение сейсмической безопасности в Кемеровской области. Заметное усиление сейсмичности в Кузбассе произошло в XXI в. одновременно с возросшими объемами добычи полезных ископаемых [1]. По результатам мониторинга зафиксирован ряд техногенных сейсмических активизаций в районах добычи угля (Кузнецкая впадина) и в районах добычи железной руды (Горная Шория).

При достижении определенного уровня техногенного воздействия (такого, как перемещение больших масс горной породы, сейсмическое воздействие массовых промышленных взрывов, воздействие вибрации от работы угледобывающих комбайнов, откачка вод с подземных горных выработок) сейсмические активизации сопровождают процесс добычи угля как открытым (разрезы), так и закрытым (шахты) способами. При исследованиях выявлен триггерный характер влияния техногенных воздействий на развитие наведенной сейсмичности. Установлено, что наиболее сильные активизации недр в районе горных выработок протекают кратковременно, в течение одного-двух месяцев. Пульсирующий характер наиболее выдающихся по объему выделенной энергии активизаций подтверждается их повторением с интервалом в один-два года. В 2013 г. в Кузбассе произошло техногенное Бачатское землетрясение с $M_L=6.1$, пространственно увязанное с одноименным разрезом и ставшее крупнейшим в мире землетрясением при добыче твердых полезных ископаемых [2].

При изучении наведенной сейсмичности на железорудных месторождениях в Горной Шории отмечена ее пространственно-временная изменчивость. Кроме того, обнаружен эффект частичной синхронизации сейсмических процессов на рудниках «Казский», «Шерегешский» и «Таштагольский», расположенных на удалениях в десятки километров друг от друга [3].

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Ситников В.В., Лескова Е.В., Корабельщиков Д.Г., Дураченко А.В. Мониторинг наведенной сейсмичности в Кузбассе // Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в области сильного техногенного воздействия / Отв. ред. Н.Н. Мельников. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – Разд. V. – С. 426–459.
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. ($M_L=6.1$) в Кузбассе – сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 34–60.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г., Куприш О.В. Наведенная сейсмичность в угольных и железорудных районах Кузбасса // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 3. – С. 88–96.

ВОЗМОЖНОСТИ СЕТИ СТАНЦИЙ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹Д.Г. Корабельщиков, ¹И.А. Антонов,
¹А.В. Дураченко, ^{1,2}А.В. Фатеев, ¹В.В. Янкайтис
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Сеть сейсмических станций Алтае-Саянского региона, насчитывающая в настоящее время 55 стационарных комплексов регистрации, начала формироваться в 1962 году. Сейчас она обеспечивает представительную регистрацию землетрясений на уровне $ML_{\min}=1.5$ на значительной части региона. В то же время на всей территории в пределах границ зон ответственности составления каталога не могут быть пропущены землетрясения с $ML_{\min}=3.5$ и выше. Погрешность определения координат эпицентров составляет не более 10 км в части региона, расположенной на территории Российской Федерации; при этом в местах сгущения сейсмостанций (Алтайский сейсмологический полигон, Кузбасс) данная погрешность составляет порядка 2–3 км.

Блок сейсмологического оборудования состоит из регистратора (Байкал-11, 8.1, 8.2 или Guralp CD-24, DM-24mk3), велосиметра (обычно CMG-6T, CMG-3ESP или CM-3KB) и (на 41 станции из 55) акселерометра (CMG-5T либо A1638+), установленных непосредственно на приборный постамент сейсмостанции.

Система автоматизированного сбора данных в Алтае-Саянском филиале ФИЦ ЕГС РАН начала развиваться в 1998 г. вместе с появлением первых цифровых сейсмических станций [1]. Появление новых технологий передачи и обработки данных, а также модернизация аппаратного комплекса существенно повысили качество, объемы и оперативность поступления данных и обработки.

В Центре сбора и обработки сейсмологической информации организована система автоматической передачи, хранения и обработки данных [2]. Практически вся сейсмическая сеть передает непрерывную информацию в режиме, близком к реальному времени. Также реализована многоступенчатая система контроля доступности и качества первичного материала, позволяющая выявлять неисправности аппаратуры.

Обработка сейсмических данных делится на автоматическую, оперативную и окончательную. Возможности центра позволяют обрабатывать сотни землетрясений в день. При этом по результатам автоматической обработки (для событий с $ML \geq 3$) рассылаются оповещения через порядка полутора минут после события; спустя несколько минут поступают уточненные уведомления по результатам оперативной обработки дежурным специалистом. Окончательная обработка сейсмических данных производится на следующий рабочий день. Таким образом, как правило, уже через сутки формируется окончательный вариант каталога.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еманов А.А., Кабанник А.В., Корабельщиков Д.Г., Янкайтис В.В.* Региональный (Алтае-Саянский) центр сбора и обработки сейсмологической информации: технические решения, программное обеспечение, организация хранения и обработки данных // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы Международной конференции, Новосибирск, 15–19 сентября 2003 г. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – С. 389–393.
2. *Еманов А.А., Корабельщиков Д.Г., Дзюбарова Ю.О., Дураченко А.В.* Развитие программно-аппаратного комплекса автоматизированного сбора, хранения и обработки сейсмологических данных сети станций Алтае-Саянского региона: ретроспектива, анализ и перспективы // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири: тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием. – Новосибирск: Полиграфика, 2013. – С. 48–53.

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

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

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Переход к цифровой регистрации в сейсмологии требует развития методов и создания алгоритмов цифровой обработки, заменяющей ручную и диалоговую. Модель сейсмической записи – это разделение сигналов на записи на полезные и шумовые. Под шумами могут подразумеваться как микросейсмические, так и отдельные типы волн.

Рассматриваются две модели волнового поля: одна – в виде свертки излучаемого сигнала из источника с импульсной сейсмограммой с добавлением аддитивных шумов, другая – в виде суммы сигналов и шумов. Модель свертки позволяет изучать динамические свойства излучаемых сигналов и получать сейсмограммы с высоким разрешением волн [1, 2].

Создание новых алгоритмов, как правило, происходит по схеме: 1 – предположение о возможности решения данной задачи; 2 – построение идеального алгоритма, когда понятна физическая суть метода; 3 – построение алгоритмов с регуляризацией по шумам, обеспечивающих решение задачи на должном уровне. Таким образом, создавались алгоритмы подавления волны-спутника на сейсмограммах, подавления реверберации при наблюдениях на море, устранения искажений короткозамедленного взрывания на сейсмограммах и др. [1] и методы обработки когерентных волн, позволяющие выделять и интерпретировать стоячие волны [3]. Фильтрация по когерентности по одному измерению пространства позволяет получать временные разрезы головных волн в сейсморазведке и изучать среду [4]. Для получения сейсмограмм от виртуальных источников предложено использовать накопление с кратными отраженными волнами, когерентными по лучу [5].

В данной работе рассмотрен подход к повышению эффективности селекции волн за счет совершенствования информации о свойствах помех и сигналов. При выделении когерентных волн любого типа имеется однотипный элемент алгоритма, в котором различия появляются после замены математического ожидания на среднее арифметическое с усреднением по параметру, соответствующему виду когерентности. Этот алгоритм обоснован для определенного типа помех и сигналов. В данной работе вводится новая идея замены математического ожидания одним из средних значений ряда, что позволяет получать алгоритмы с разными возможностями выделения когерентных волн в сейсмологии.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гольдин С.В.* Линейные преобразования сейсмических сигналов. – М.: Недра, 1974. – 352 с.
2. *Чичинин И.С.* Вопросы теории сейсмического виброндирования // Методика сейсморазведки. – М.: Наука, 1965. – С. 147–163.
3. *Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А., Гриценко С.А., Данилов И.А., Кузьменко А.П., Сабуров В.С., Татьков Г.И.* Пересчет стоячих волн при детальных инженерно-сейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. – 2002. – № 2. – С. 192–207.
4. *Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Коршик Н.А.* Динамический пересчет головных волн при обработке данных сейсморазведки // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 10. – С. 1031–1045.
5. *Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Беляев А.А.* Корреляционное построение сейсмограмм из поля кратных волн множества сейсмических событий // Развитие вибросейсмических исследований земной коры в Сибири. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1989. – С. 34–45.

ХУБСУГУЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 11.01.2021 Г. С $M_w=6.7$, $M_L=6.9$

¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ^{1,2}А.А. Еманов, к.г.-м.н.,
³В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н., ¹Е.В. Шевкунова,
⁴Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н., ^{1,2}А.В. Фатеев, к.ф.-м.н.,
³Е.А. Кобелева, к.ф.-м.н., ¹Е.А. Гладышев, ¹В.В. Арапов,
¹А.И. Артёмова, ¹В.Г. Подкорытова
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск
³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск
⁴ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Хубсугульское землетрясение 11.01.2021 г. с $M_w=6.7$, $M_L=6.9$ произошло в Северной Монголии недалеко от границы с Россией. Оно вызвало 9-балльные колебания в эпицентре и ощутимые колебания в городах и поселках Восточной и Западной Сибири. Землетрясение произошло в районе одноименного разлома и вызвало интенсивный афтершоковый процесс на участке между двумя изломами. Охваченный афтершоками участок разлома уходит от озера в северо-западном направлении. Сейсмически активизирован участок границы древнего Тувино-Монгольского микроконтинента, в котором находятся параллельные рифтовые впадины: Хубсугульская, Дархатская, а также Бусингольская, состоящая из трех линейно вытянутых впадин. До сих пор район Бусингольской впадины отличался высокой сейсмичностью, район Дархатской – умеренной и Хубсугульской – пониженной сейсмичностью [1]. Землетрясение 2021 г. – крупнейшее за всю историю на Хубсугульском разломе. Уровень графика повторяемости для афтершоков менее чем за два месяца превысил уровень годового графика повторяемости землетрясений для Алтае-Саянской горной области. Плотность афтершоков вдоль разлома неравномерна, структура увязывается с односторонним блочным строением земной коры с востока от активизированного участка разлома. Сейсмический потенциал Хубсугульского разлома оценивался в $M_{max}=7-7.5$ [2], и данное землетрясение в соответствии с геологическими данными не является максимально возможным. Учитывая, что сейсмическая активизация после Бусингольского землетрясения 1991 г. еще не завершилась, мы имеем в Тувино-Монгольском блоке две сильные активизации, способные оказать значимое влияние на эволюцию его сейсмичности. Также сейсмически активна перпендикулярная к блоку Байкальская рифтовая зона [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Соловьев В.М., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А., Корабельщиков Д.Г., Подкорытова В.Г., Янкайтис В.В., Елагин С.А., Серёжников Н.А., Дураченко А.В., Артёмова А.И. Сейсмологические исследования в Алтае-Саянской горной области // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 20–51. doi: 10.35540/2686-7907.2021.2.02
2. Кочетков В.М., Хилько С.Д., Зорин Ю.А., Ружич В.В., Турутанов Е.Х., Арвисбаагар Н., Баясгалан, Кожевников В.М., Эрдэнбелэг Б., Чипизубов А.В., Монхоо Д., Аниканова Г.А., Ключевский А.В., Найдич В.И., Баяр Г., Боровик Н.С., Гилёва Н.А., Адьяа М., Балжинням И., Джурик В.И., Потапов В.А., Юшкин В.И., Дугармаа Т., Цэмбэл Л. Сеймотектоника и сейсмичность Прихубсугулья. – Новосибирск: Наука, 1993. – 182 с.
3. Гилёва Н.А., Кобелева Е.А., Радзиминович Я.Б., Мельникова В.И., Чечельницкий В.В. Быстринское землетрясение 21.09.2020 г. ($M_w=5.5$) в Южном Прибайкалье: Предварительные результаты инструментальных и макросейсмических наблюдений // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 55–71.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АВАРИЙНОМ РЕЗЕРВУАРЕ В Г. НОРИЛЬСКЕ

¹А.Ф. Еманов, д.т.н., ¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ²Ж.Г. Петухова, д.э.н.,
²Д.В. Дубров, к.т.н., ¹А.А. Еманов, к.г.-м.н., ¹В.В. Янкайтис,
¹П.О. Полянский, ¹Р.А. Ершов, ¹А.А. Бах, ¹С.А. Елагин,
¹Н.А. Серёжников, ¹Д.В. Скотников
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ФГБОУ ВО «НГИИ», г. Норильск

В докладе представлены результаты исследования фактического состояния Резервуара № 5 ХАДТ ТЭЦ-3 в г. Норильске и его опорных конструкций методами сейсморазведки КМПВ, обследованием сооружений Резервуара методом стоячих волн [1], георадиолокационным профилированием и сейсмологическими наблюдениями.

Сейсмическое строение – трехслойное. Первый слой расположен в интервале глубин 0–2.2÷3.5 м. Скорость *P*-волн в данном слое составляет 715–810 м/с, *S*-волн – 420–465 м/с. Второй слой расположен между отметками (2.5÷3.5 м) и (11.5÷13.0 м). Скорость *P*-волн в этом слое составляет 1280–1330 м/с, скорость *S*-волн – 710–730 м/с. Третий слой залегает на глубинах ниже 11.5÷13.0 м, в западной части Резервуара отмечается его значительное погружение до 17–23 м. Скорость *P*-волны в нем составляет 2650–3190 м/с, скорость *S*-волны составляет в среднем 1325 м/с. Третий слой сложен более плотными осадочными породами – аргиллитом, алевролитом и песчаником.

По результатам обследования плиты основания методом стоячих волн не обнаружено значимых по амплитуде изгибных собственных колебаний, что говорит о хорошей устойчивости плиты и отсутствии возможности резонансных изгибных воздействий на поддон Резервуара. Получены моды на разных частотах по двум перпендикулярным диаметрам, совпадающим с деформационными швами платформы. Повышение амплитуд стоячих волн в западной части Резервуара № 5 означает сильную раскачку здесь плиты основания, которая могла привести к колебаниям топлива в Резервуаре и ослаблениям прочности резервуара и свай. По результатам исследований свай методом стоячих волн определены полные длины свай и глубины свай под землей (10–12 м). Западная, северо-западная и юго-западная части свайного поля отмечаются пониженной глубиной свай и повышенной частотой резонансов свай.

По результатам георадарных исследований выделены пустоты, металлические объекты, бетонные покрытия мощностью 0.2–0.4 м. Мощных протяженных зон таликов не выявлено. Глубинность исследований составила 1.5–6 м для разных частот.

По данным сейсмологических исследований, в трех точках площадки Резервуара зафиксированы пиковые смещения грунта от 0 до 3 мкм; пиковые скорости смещения грунта от 0.0001 до 0.0075 см/с; пиковые ускорения смещения грунта от 0.011 до 0.912 см/с². Максимальные значения скоростей и ускорений, согласно ГОСТ Р 57546-2017, соответствуют интенсивности сотрясений менее 1 балла по шкале ШСИ-17.

Установлено, что аварии способствовало сочетание особенностей геологического строения, приведшее к резонансам слоя под конструкцией, длина свай, меньшая, чем глубина залегания наиболее плотных пород, и повышенные амплитуды собственных горизонтальных колебаний участка платформы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А., Гриценко С.А., Данилов И.А., Кузьменко А.П., Сабуров В.С., Татков Г.И. Пересчет стоячих волн при детальном инженерно-сейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 2. – С. 192–207.

ОСНОВНЫЕ ПРИЗНАКИ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЗРЫВАМИ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

М.А. Ефременко, к.г.-м.н., С.П. Пивоваров, К.Ю. Силкин, к.г.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

На территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в настоящее время функционируют более 20 карьеров. Самые крупные взрывы производятся в карьерах Курской магнитной аномалии (КМА): г. Железнодорожск («Михайловский»), г. Губкин («Лебединский» и «Стойленский»), в которых добывается железная руда, а также в Воронежской области (карьер по добыче гранитной крошки в г. Павловске «Шкурлат»). Сейсмические события, создаваемые взрывами в этих карьерах, имеют энергетический класс K_p , равный 7–10. Кроме промышленных взрывов, на территории ВКМ каждый год регистрируются местные тектонические землетрясения с $K_p=4–10$. Такое положение требует особо тщательного подхода к распознаванию природы сейсмических событий [1–3]. Это требует выделения основных признаков волновых полей, вызванных короткозамедленными промышленными взрывами.

Волновое поле, возбуждаемое мощными взрывами, имеет сложный характер. Сейсмические события, вызванные взрывами в одном и том же карьере, на записи одной и той же станции часто существенно отличаются. Особенно это характерно для взрывов в Лебединском карьере, где, как правило, одновременно осуществляется подрыв нескольких блоков. В карьере «Шкурлат» более чем в 90% случаев производится подрыв одного блока, и поверхностная волна имеет не более двух периодов колебаний. Еще одной особенностью записей взрывов в карьере «Шкурлат» являются близкие по величине соотношения амплитуд вертикальной и горизонтальной составляющих. Вместе с тем следует заметить, что в волновом поле сейсмических событий, вызванных взрывами в разных карьерах, наиболее представительными являются поверхностные волны типа Релея и Лява, которые образуют два спектральных максимума в полосе частот от 0.4 до 2.0 Гц и объемные высокочастотные волны (выше 3.0 Гц). Вступление Р-волны на записи промышленного взрыва, из-за одновременного подрыва сразу нескольких скважин и блоков, «размазано» и не имеет четких знаков. Выделение S-волн в ряде случаев затруднено наличием интерференционной картины в интервале времени выделения S-волн.

В настоящее время создана и постоянно пополняется база данных волновых форм и спектров промышленных взрывов и землетрясений. Представительная база данных с известными параметрами промышленных взрывов и тектонических землетрясений позволит разработать автоматическое распознавание и определить природу событий в геологических условиях ВКМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Надёжка Л.И., Пивоваров С.П., Сафронич И.Н., Ефременко М.А., Пивоваров Р.С.* Некоторые особенности сейсмического эффекта, создаваемого промышленными взрывами // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2009. – № 2. – С. 155–160.
2. *Пивоваров С.П., Семенов А.Е., Калинина Э.В.* Спектральные образы наиболее сильных промышленных взрывов по данным сейсмостанции «Сторожевое» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 252–255.
3. *Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России* // Под. ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с.

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ НЕ-НЕ ЛАЗЕРНЫЙ ДЕФОРМОГРАФ

¹В.А. Жмудь, д.т.н., ²С.В. Панов, ²М.Д. Парушкин, ¹А.Ю. Рыбушкин,

¹Д.О. Терешкин, ³В.Ю. Тимофеев, д.ф.-м.н., ¹Ю.Н. Фомин

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск

³ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Для регистрации деформационных процессов, сопровождающих сейсмичность, необходимы устройства, позволяющие с высокой чувствительностью и в непрерывном режиме измерять малые относительные деформационные смещения горных пород в широком диапазоне частот. С этой целью в АСФ ФИЦ ЕГС РАН разработан и изготовлен двухканальный Не-Не лазерный деформограф, предназначенный для установки в геофизической штольне ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск).

Лазерный деформограф относится к интерференционным оптическим измерителям малых перемещений, построенных по схеме неравноплечего интерферометра Майкельсона с переносом фазовой информации из оптического диапазона в радиочастотный (1 МГц) методом оптического гетеродинамирования.

Работа деформографа основана на непрерывной регистрации изменения целой и дробной частей фазы световой волны зондирующего излучения во времени, обусловленного эффектом Доплера.

Преимуществом созданного деформографа является то, что в условиях открытой атмосферы он обладает высокой чувствительностью к малым перемещениям в широком диапазоне периодов колебаний и не требует применения экранировки зондирующего излучения на измерительной трассе. Это достигается благодаря использованию оригинальной методики компенсации влияния открытой атмосферы. Суть метода состоит в прямых измерениях вариаций длины световой волны в атмосфере с использованием короткого измерительного плеча постоянной длины (эталона). На предложенный метод компенсации получены патенты РФ [1, 2]. Программное обеспечение измерительного комплекса включает в себя три программы реального времени [3–5].

Основные технические характеристики лазерного деформографа: мощность лазерного излучения – 2 мВт; рабочая длина волны – 0.63 мкм; база измерений – до 200 м; количество измерительных каналов – 2; чувствительность к перемещениям – $\lambda/8192$ мкм ($\lambda=0.63$ мкм); частота дискретизации записи измерений – 100 Гц; привязка к абсолютному времени – через GPS – GLONASS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багаев С.Н., Орлов В.А., Рыбушкин А.Ю., Семибаламут В.М., Фомин Ю.Н. Двухчастотная лазерная интерферометрическая система для измерения линейных перемещений / Патент РФ RU 2082085 от 20.06.1997.

2. Багаев С.Н., Орлов В.А., Рыбушкин А.Ю., Семибаламут В.М., Фомин Ю.Н. Двухчастотная интерферометрическая система для измерения линейных перемещений / Патент РФ RU 2085841 от 27.07.1997.

3. Рыбушкин А.Ю., Семибаламут В.М., Терешкин Д.О. Def-control / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016612389 от 20.03.2016.

4. Рыбушкин А.Ю., Семибаламут В.М., Терешкин Д.О. Baykal-server / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015612537 от 20.03.2015.

5. Рыбушкин А.Ю., Семибаламут В.М., Терешкин Д.О. Baykal-client / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015612924 от 20.03.2015.

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРА ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.Д. Завьялов, д.ф.-м.н., О.Д. Зотов, к.ф.-м.н., А.В. Гульельми, д.ф.-м.н.
ИФЗ РАН, г. Москва

Существует два основных доступных практических подхода к определению средних зависимостей величины L от магнитуды M . В *первом случае* это прямые измерения длины L поверхностного разрыва и/или смещения D по нему. В этом случае набор таких параметров для известных землетрясений позволяет определить корреляционную связь с магнитудой. Однако прямые измерения L , когда главный разрыв достигает земной поверхности, доступны, как правило, для неглубоких коровых землетрясений и далеко не всегда. Во *втором случае* длину подповерхностного разрыва оценивают по косвенным данным – размерам зоны афтершоков. Распределение афтершоков в координатах широта–долгота–глубина позволяет оценить форму очага и его геометрические параметры. Тогда под L понимают характерный размер трехмерной пространственной области – очаговой зоны (очага землетрясения), в которой происходят основной и сопровождающие его разрывы.

Мы предлагаем новый способ определения характерных размеров очаговой зоны в зависимости от магнитуды L (M), основанный на статистическом анализе пространственного распределения большого (десятки тысяч) числа афтершоков, произошедших на коротком интервале времени после главных толчков (тысячи событий). Используются данные мирового каталога землетрясений USGS/NEIC с 1973 по 2014 год. Рассмотрены короткие интервалы времени – не более 10 *час* после главного толчка – и расстояния от эпицентра главного толчка до 500 *км*. Исследовалась зависимость числа афтершоков от расстояния до эпицентра. В результате установлены два свойства пространственного распределения афтершоков. *Первое свойство* – максимум кривой, описывающей пространственное распределение афтершоков, наблюдается на определенном расстоянии (от 10 до 120 *км*) от эпицентра главного толчка. Это расстояние прямо пропорционально магнитуде главного толчка. *Второе свойство* – положение максимума не зависит от времени (по крайней мере, на интервале до 10 *час*), т.е. является стабильной пространственной характеристикой очага. На основании этих свойств предложен новый способ определения размера очаговой зоны.

Зависимость расстояния максимума пространственного распределения афтершоков от эпицентра главного толчка от магнитуды главных толчков достаточно хорошо аппроксимируется уравнением $\lg R[\text{км}] = 0.43 \cdot M - 1.57$ (1). Расстояние от главного толчка до максимума пространственного распределения афтершоков логично интерпретировать как средний радиус R очаговой зоны. Тогда в среднем $L = 2 \cdot R$, и из (1) получаем эмпирическую формулу для характерного размера очаговой зоны $\lg L[\text{км}] = 0.43 \cdot M - 1.27$ (2). Заметим, наша формула (2) практически совпадает с формулой Ю.В. Ризниченко [1]: $\lg L[\text{км}] = 0.44 \cdot M - 1.29$ (3), но несколько отличается от формулы, предложенной Уэлсом и Копперсмитом в [2]: $\lg L[\text{км}] = 0.67 \cdot M - 2.94$ (4).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00096) и программ государственного задания ИФЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ризниченко Ю.В.* Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука, 1976. – С. 9–27.
2. *Wells D.L., Coppersmith K.J.* New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1994. – V. 84, N 4. – P. 974–1002.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ СТАЦИОННЫХ ПОПРАВОК СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

А.С. Зверева
ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

Данная работа посвящена расчету стационарных поправок сейсмических станций сети Западного Кавказа для учета влияния на сейсмические волны расположенного непосредственно под сейсмической станцией верхнего слоя горных пород низкой плотности, который может привести к увеличению амплитуды сигнала (сайт-эффект) и к резонансу. Усиление – частотно-зависимый параметр, и данные о нем являются особенно важными уже не только для инженерной сейсмологии, но и для интерпретации сейсмологических результатов, таких как определение амплитудного спектра сейсмических колебаний в очаге землетрясения для нахождения по нему угловой частоты f_0 и коэффициента спектральной плотности Ω_0 . Широкую известность прямого определения усиления грунтов получили методы, основанные на вычислении спектральных отношений. Нами стационарные поправки получены на основе метода Накамуры, основанном на использовании спектрального соотношения между горизонтальной и вертикальной компонентами одной и той же станции [1].

Стационарные поправки были вычислены для девяти сейсмических станций (ANN, DOM, GLDR, GOYR, GRYR, GUZR, RPOR, SUKR, VSLR) на основе анализа записей 414 землетрясений, произошедших на территории Западного Кавказа в 2013–2020 гг. Количество обработанных по каждой станции землетрясений – от 29 до 57. Расчет спектральных отношений производился по выбранным фрагментам записей S -волн в программе MicroReg [2]. Все выбранные фрагменты записей анализировались на отсутствие сильных импульсных помех и других факторов, искажающих спектр.

Для каждой станции рассчитаны статистические стационарные поправки в диапазоне 0.7–33 Гц. Получены максимальные, минимальные и средние значения отношения H/V , а также проведена оценка стандартного отклонения. Для сейсмических станций, установленных на скальных породах, теоретически отношение спектра горизонтальной компоненты к спектру вертикальной должно равняться единице во всем диапазоне рассматриваемых частот. На практике значения стационарных поправок отклоняются от единицы, и средние значения варьируют от 1.1 (GLDR) до 2.5 (GOYR). Минимальные значения стационарных поправок не опускаются ниже 0.7 (GLDR), максимальные – не превышают значение 3.8 (GOYR). В целом для станций GLDR, DOMR, VSLR и ANN можно говорить об отсутствии резонансного эффекта во всем рассматриваемом диапазоне частот. Полученные результаты дают основания для вывода, что на них не наблюдается сильное увеличение амплитуд регистрируемых сигналов вследствие резонансных явлений. Однако для других сейсмических станций, особенно для GOYR и RPOR, отмечено усиление в рассматриваемом диапазоне частот, что делает необходимым использование стационарных поправок. Метод Накамуры хотя и не дает абсолютных значений усиления, однако позволяет достаточно уверенно определить частоты, на которых оно является весьма значительным.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычева Н.А., Мансуров А.Н. Оценка стационарных поправок для сейсмологической сети KNET на основе анализа отношения спектров H - и V -компонент сейсмического шума и локальных землетрясений // Геофизические исследования. – 2018. – Т. 19, № 1. – С. 30–48.
2. Дягилев Р.А. Система обработки данных сейсмического микрорайонирования // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. Вып. 9. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. – С. 186–188.

КРИП ОБРАЗЦА ГОРНОЙ ПОРОДЫ И МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

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

В ряде экспериментов по влиянию предельно высоких, постоянно действующих механических одноосных давлений 7–10 МПа на деформации твердых модельных образцов горных пород, когда они находятся в состоянии крипа, обнаружено, что скорости этих деформаций явно проявляют сезонный и годовой ход, коррелирующийся с вариациями атмосферных давлений [1, 2]. Для измерения деформаций применялся специальный метод регистрации импульсов скачков деформаций, преобразующихся в электромагнитные сигналы на основе высокочувствительной установки [3].

Наблюдения за период с сентября 2009 г. по июнь 2021 г. показали, что на фоне долговременного монотонного тренда, отражающего процесс квазиравновесного разрушения образцов, проявляются периодические рост и замедление скорости крипа. Сезонные, годовые вариации скорости крипа происходят в три этапа: на первом, когда образцы относительно мягки и податливы к деформациям, амплитуды самые большие. По мере сжатия образцы становятся более жесткими, менее податливыми к деформированию, и амплитуды сезонных изменений скорости снижаются до минимума. На заключительной стадии, до разрушения, по-видимому, вследствие дилатансии, амплитуды сезонных вариаций вновь возрастают, но не превышая амплитуды 1 этапа. Обнаруженные особенности деформирования образцов согласуются с моделями подготовки тектонических землетрясений [4]. Анализ влияния изменений атмосферного давления на крип предельно напряженной геосреды подтверждает, что они могут играть роль триггера в возникновении землетрясений [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каримов Ф.Х., Саломов Н.Г.** Сезонные вариации деформаций предельно напряженных модельных образцов горных пород // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 115–119.
2. **Каримов Ф.Х., Саломов Н.Г., Маджиди М.** Триггерные эффекты в динамике сред с предельно активированными межатомными связями // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – Душанбе: ТНУ, 2020. – № 4. – С. 9–13.
3. **Мирзоев К.М., Саломов Н.Г., Шепелин И.С.** Комплексная аппаратура для лабораторных исследований сейсмических процессов // Труды Международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной 60-летию со дня Хаитского землетрясения 1949 г. в Таджикистане. – Душанбе: ИГССС АН РТ, 2009. – С. 102–105.
4. **Добровольский И.П.** Теория подготовки тектонического землетрясения. – М.: ИФЗ АН СССР, 1991. – 224 с.
5. **Боков В.Н., Гутшабах Е.Ш., Потиха Л.З.** Атмосферные процессы как триггерный эффект возникновения землетрясений // Ученые записки РГГМУ. Геофизика. – 2011. – № 18. – С. 173–183.

О ВОЗМОЖНОСТИ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ГИДРОАГРЕГАТОВ НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС

И.В. Коковкин
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Инженерные здания и сооружения являются объектами повышенной ответственности, т.к. при определенных условиях они подвержены негативным воздействиям, относящимся как к естественной (активация разломов, землетрясения, размывание, промерзание и т.п.), так и техногенной природе. В этой связи необходим периодический контроль их технического состояния. Основой для развития предлагаемого метода контроля являются результаты исследования, полученные при изучении динамических воздействий, возникающих при работе гидроэлектростанций (ГЭС). Ранее [1, 2] была показана возможность мониторинга технического состояния ГЭС, основанная на слежении за изменением его собственных частот, и показан способ осуществления дистанционного контроля вибрационного состояния промышленного оборудования по данным, полученным с сейсмических станций, удаленных от ГЭС на несколько километров.

Данная работа посвящена развитию метода инженерно-сейсмического мониторинга, разработанного в ФИЦ ЕГС РАН [3], и основана на результатах исследований по изучению динамических воздействий, возникающих при работе ГЭС. В работе показаны первые результаты регистрации и анализа сейсмических материалов, полученных с сеймостанций вблизи Новосибирской ГЭС и на удалении от нее порядка 16 км. Из зарегистрированных сейсмических колебаний выделены сигналы, источниками которых являются техногенные воздействия от работающего оборудования Новосибирской ГЭС. Показана возможность отслеживания изменения режимов работы гидроагрегатов на достаточном удалении от самого объекта и преобразования полученного сигнала методом вычитания помех для улучшения соотношения сигнал/шум. Таким образом, в работе показан способ математического преобразования сейсмической записи для улучшения соотношения сигнал/помеха, основанный на разности амплитуд колебаний исследуемого сигнала на выделенной частоте относительно фона. Данный способ требует как доработки, так и дополнительной апробации ввиду полученных различных значений коэффициентов корреляции для разных временных промежутков.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Адилев З.А., Ting-Yu H., Arygianni V.* Особенности мониторинга собственных частот плотин гидроэлектростанций (на примере Чиркейской ГЭС) // Российский сейсмологический журнал. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 23–34. doi: 10.35540/2686-7907.2019.1.02
2. *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 ученых, специалистов, аспирантов и студентов / Под. ред. В.Б. Затеева, В.В. Татарникова. – Саяногорск, Черёмушки: Сибирский федеральный университет, Саяно-Шушенский филиал, 2016. – С. 80–87.
3. *Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Брыксин А.А.* Способ непрерывного мониторинга физического состояния зданий и/или сооружений и устройство для его осуществления / Патент на изобретение РФ № 2461847 // Бюл. № 26. 20.09.2012.

ГЕОМАГНИТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА КГО «КАРЫМШИНА» В КАМЧАТСКОМ ФИЛИАЛЕ ФИЦ ЕГС РАН

Г.Н. Копылова, д.г.-м.н., Е.А. Будилова, В.А. Кобзев, В.П. Долгих
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Камчатский филиал (КФ) ФИЦ ЕГС РАН совместно с Институтом физики Земли (ИФЗ) РАН проводит геомагнитные наблюдения на комплексной геофизической обсерватории (КГО) «Карымшина». Для наблюдений используется разработанный в ИЗМИРАН магнитометр-вариометр [1], состоящий из трех идентичных датчиков H -, D - и Z -компонент магнитного поля. Комплект оборудования эксплуатируется с 1999 года.

Данные наблюдений передаются в ИФЗ РАН для окончательной обработки. Описание изменений параметров геомагнитного поля перед землетрясениями Камчатки с $M \geq 5.0$ приводится в [2–4]. С использованием текущих геомагнитных данных с 2016 г. подаются регулярные прогнозы в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС).

В октябре 2013 г. в КФ ФИЦ ЕГС РАН была внедрена телеметрическая передача геомагнитных данных с частотой 100 Гц по сейсмическому каналу с КГО на приемный центр в г. Петропавловске-Камчатском [5]. С этого времени эксплуатация магнитометра, а также профилактические и ремонтные работы осуществляются сотрудниками лаборатории геофизических исследований. Масштабные ремонтно-профилактические работы, направленные на повышение качества исходных данных, проведены в летне-осенний период 2019 года. В 2019 г. создан пополняемый цифровой архив геомагнитных данных и его описание за все время наблюдений. Поддержание архива в актуальном состоянии и оценка качества данных за многолетний период необходимы для ретроспективного анализа геомагнитных параметров во время сильных сейсмических событий и для решения других задач в области геофизического мониторинга. Данные геомагнитных наблюдений ежедневно анализируются для оперативного обнаружения пропусков, технических сбоев и контроля качества данных. Ежедневно данные анализируются с использованием сейсмопрогностического алгоритма [2–4] для диагностики признаков подготовки сильных землетрясений.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Щекотов А.Ю., Беляев Г.Г., Кобзев В.А.* Трехкомпонентный индукционный магнитометр (конструкция, обслуживание, калибровка) // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 509–512.
2. *Schekotov A., Fedorov E., Molchanov O.A., Hayakawa M.* Low frequency electromagnetic precursors as a prospect for earthquake prediction // Earthquake Prediction Studies: Seismo-Electromagnetics / Hayakawa M., ed. – Tokyo: TERRAPUB, 2013. – P. 81–99.
3. *Schekotov A., Molchanov O., Hattori K. et al.* Seismo-ionospheric depression of the ULF geomagnetic fluctuations at Kamchatka and Japan // Physics and Chemistry of the Earth. – 2006. – N 31. – P. 313–318.
4. *Щекотов А.Ю., Копылова Г.Н., Будилова Е.А., Серафимова Ю.К.* О прогнозировании камчатских землетрясений по данным электромагнитных наблюдений // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 362–367.
5. *Берсенева Н.Ю.* Автоматизация обработки данных геомагнитных наблюдений на КГО «Карымшина», Камчатка // Исследования в области наук о Земле. Материалы XII региональной молодежной научной конференции. – Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В. Беринга, 2014. – С. 85–94.

КАРТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ВОЛН РЕЛЕЯ НА ТЕРРИТОРИИ КАВКАЗА

Т.Ю. Королева, к.ф.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Санкт-Петербург

Большой Кавказ является частью Альпийско-Гималайского складчатого пояса, испытавшей за последние 5 млн. лет быстрое поднятие, что делает его очень интересным объектом для изучения. Здесь проводились как глобальные [1], так и локальные [2] исследования, однако полученные скоростные модели характеризовались низким разрешением и были несколько противоречивы, что было связано, в том числе, с недостаточным количеством качественных данных. Однако в последние годы ситуация кардинально изменилась – в рамках реализации проекта [3] здесь была развернута целая сеть широкополосных сейсмостанций. Это открывает большие перспективы для исследования этого региона.

Для изучения скоростного строения Большого Кавказа в работе использовался получивший в последние годы широкое распространение метод шумовой сейсмотомографии, позволяющий определять скоростную структуру верхних слоев Земли. Основан он на том, что кросскорреляционная функция шума на двух станциях, усредненная за достаточно длительный – порядка года и больше – интервал времени, определяет функцию Грина для поверхностной волны [4], что дает возможность оценивать групповые и фазовые скорости поверхностных волн на трассах между станциями [5]. В данной работе для построения кросскорреляционной функции использовались вертикальные компоненты записей шума, что позволяет определять групповые и фазовые скорости волны Релея. Для средних вдоль трасс скоростей была сделана поверхностно-волновая томография [6], что позволило получить двумерные карты распределения скоростей волн Релея в зависимости от периода. Полученные карты распределения скоростей можно использовать как для самостоятельных интерпретаций, так и, в дальнейшем, для построения трехмерного распределения скоростей S -волн.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Villaseñor A., Ritzwoller M.H., Levshin A.L., Barmin M.P., Engdahl E.R., Spakman W., Trampert J.* Shear velocity structure of central Eurasia from inversion of surface wave velocities // *Physics of the Earth and Planetary Interiors.* – 2001. – V. 123. – P. 169–184.
2. *Zabelina I., Koulakov I., Amanatashvili I., El Khrepy S., Al-Arifi N.* Seismic structure of the crust and uppermost mantle beneath Caucasus based on regional earthquake tomography // *Journal of Asian Earth Sciences.* – 2016. – V. 119. – P. 87–99.
3. *Sandvol E., Nabelek J., Mackey K.* The Caucasus seismic network: The uplift and structure of the Greater and Lesser Caucasus. International Federation of Digital Seismograph Networks // *FDSN. Dataset/Seismic Network.* – 2017. doi: 10.7914/SN/XA_2017
4. *Lobkis O.I., Weaver R.L.* On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field // *Journal of the Acoustical Society of America.* – 2001. – V. 110. – P. 3011–3017.
5. *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.
6. *Дутмар П.Г., Яновская Т.Б.* Обобщение метода Бэйкуса-Гильберта для оценки горизонтальных вариаций скорости поверхностных волн // *Известия АН СССР. Физика Земли.* – 1987. – № 6. – С. 30–40.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В 2019–2020 ГГ.

¹Л.Н. Королецки, ²А.С. Зверева,
¹Н.В. Будеева, ¹И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь

Сейсмичность Северного Кавказа в 2019–2020 гг. в целом была на уровне фоновой средней, но ряд особенностей ее проявления был связан с определенными кластерами землетрясений. Особенностью можно назвать проявление роев слабых землетрясений, в том числе в районах, где они ранее не отмечались. В 2019 г. в западной части Дагестана был зафиксирован Гагатлинский рой, связанный с активизацией Андийского разлома [1]. В марте 2020 г. в районе Кавказских Минеральных Вод и в Анапском районе также были зарегистрированы рои слабых землетрясений.

Кавминводский район был известен и ранее неоднократно проявляющимися роями слабых землетрясений, а вот район вблизи станицы Гладковской, где в октябре 2018 г. установлен сейсмический наблюдательный пункт с одноименным названием, в 2019 и 2020 г. впервые стал зоной проявления роев. Возможно, ранее из-за редкой сети в этом районе такие события здесь просто не могли быть зарегистрированы. Так, с 4 марта 2020 г. до конца месяца были зафиксированы роевые последовательности в нескольких километрах от станицы Гладковской, 24 землетрясения из них с $K=5.2-8.0$ были записаны тремя и более станциями.

Основная энергия Гладковского роя, который можно ассоциировать с северо-восточной оконечностью поперечного Анапского разлома [2], была выделена 15 марта, когда с 01^h24^m в течение получаса были зарегистрированы 34 события из этого очага. 27 из них были зарегистрированы только одной-двумя станциями, и параметры их не определены, однако отмечено подобие волновой картины на станции «Гладковская». В результате использования метода двойных разностей для уточнения координат гипоцентров выделен кластер из 16 землетрясений с центром в точке 44.9097°N±2.9 км 37.6648°E±2.3 км и глубинами $h=7.9±3.1$ км.

Через четыре часа, в 05^h36^m, на юго-западной оконечности Анапского разлома, уже в море произошло относительно сильное землетрясение с $K_r=10.8$, которое записали все станции центральной и западной сетей Северного Кавказа. Можно предположить, что эти события связаны, и рой стал индикатором напряженного состояния с последующей его реализацией в пределах одного глубинного разлома. Построен механизм землетрясения 15 марта в 05^h36^m. Тип механизма – взброс по обеим нодальным плоскостям (с правосторонней и левосторонней сдвиговыми компонентами). Простирание одной из них согласуется с направлением поперечного Анапского разлома. Таким образом, это еще один фактор, подтверждающий активизацию данного разлома.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Габсатарова И.П., Пономарева Н.Л., Королецки Л.Н., Ахмедова М.М.* Гагатлинский рой слабых землетрясений – проявление активности Андийского разлома // Российский сейсмологический журнал. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 46–56. doi: 10.35540/26867907.2019.1.04
2. *Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатов А.В.* Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС ПО ИЗМЕНЕНИЯМ ЕЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ЧЕРЁМУШКИ»

Д.В. Кречетов
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

Для контроля целостности конструкций инженерных сооружений широко распространены способы мониторинга, основанные на анализе изменений во времени различных параметров поля стоячих волн (прежде всего – собственных частот) [1]. В то же время вариации поля стоячих волн могут быть связаны не только с появлением каких-либо дефектов в конструкции, но и с другими факторами. Так, различными исследованиями на Красноярской, Саяно-Шушенской, Зейской и Чиркейской ГЭС [2] установлено, что значения собственных частот значительно меняются в зависимости от уровня водохранилища (далее – УВБ) и в меньшей степени – от других сезонных факторов (температура, образование льда со стороны верхнего бьефа плотины и пр.).

В ряде исследований [1] мониторинг собственных частот плотин ГЭС проводился по данным сейсмических станций, установленных непосредственно в теле плотины. Это имеет ряд очевидных достоинств, в частности, максимальный уровень сигнала (при правильном выборе места установки станции) и минимальные помехи от других источников. Но при этом такой способ мониторинга, как правило, значительно ограничен во времени и определяется сроком контракта на исследования с эксплуатирующей ГЭС компанией. Так, на Саяно-Шушенской ГЭС до 2014 г. не проводились непрерывные сейсмометрические наблюдения, только временные, тогда как для мониторинга состояния плотины важны данные и долговременных многолетних изменений. Поэтому представляет интерес использовать данные станций региональных сейсмологических наблюдений, установленных вблизи плотин. В частности, сейсмостанция «Черёмушки», расположенная в 4.4 км от плотины, непрерывно функционирует с 2001 года. Анализ данных микросейсмических наблюдений с этой станции показал, что при послойном усреднении они вполне валидны для определения первых 5–7 мод колебаний собственных частот Саяно-Шушенской ГЭС. Таким образом, это позволило проследить изменения собственных частот колебаний плотины за период 2001–2007 гг. и сопоставить их с изменениями УВБ водохранилища. Было установлено, что частоты собственных колебаний ГЭС меняются при изменении УВБ, а также в результате других сезонных факторов (предположительно, температуры воздуха и количества намерзающего на плотине льда в зимний период). При усреднении и исключении влияния этих сезонных факторов было установлено, что в период 2001–2011 гг. наблюдался постепенный ежегодный прирост частоты собственных колебаний плотины, который в последующее десятилетие практически полностью прекратился.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Альжанов Р.Ш., Громыко П.В. Способ организации непрерывного сейсмометрического мониторинга инженерных сооружений и устройство для его осуществления / Патент РФ № 2546056 // Бюл. № 10. 10.04.2015.
2. Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Бах А.А., Кречетов Д.В. Об изменении значений собственных частот плотины Саяно-Шушенской ГЭС при различных уровнях наполнения водохранилища // Геофизические методы исследования земной коры: Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырева. – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 182–186.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ «ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ»

А.Д. Курова, Н.В. Петрова, к.ф.-м.н.,
В.И. Левина, Г.М. Бахтиарова
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В ФИЦ ЕГС РАН имеется большой объем каталожных данных по региональной сейсмичности и макросейсмическим проявлениям землетрясений на территории СССР, а затем России и стран СНГ, накопленный при подготовке материалов к ежегодникам «Землетрясения Северной Евразии» (1992–2015 гг.) и собранный по данным предшествующего издания «Землетрясения в СССР» (1962–1991 гг.). За ранние годы (до 1996 г. включительно) материалы были представлены главным образом на бумажных носителях и в электронных файлах формата WORD, за более поздние – в виде Excel-таблиц. Вся информация разнородна, имеет множество ссылок, сносок, комментариев и примечаний. Для систематизации этих данных было решено разработать базу данных «Землетрясения Северной Евразии» (БД ЗСЕ). Чтобы учесть все возможные ссылки и комментарии и перевести все данные в единый цифровой формат, в 2012–2019 гг. на основе СУБД FoxPro была создана и наполнялась промежуточная база данных БД ЗСЕ_{пром}.

К началу 2020 г. в БД ЗСЕ_{пром} были загружены данные за 1992–2013 гг. из ежегодников «Землетрясения Северной Евразии» [1]. В 2020 г. в БД добавлены данные за 1989–1991 гг. из сборников «Землетрясения в СССР» [2], причем данные из [2] подготовлены в том же формате, что и данные [1]. Таким образом, в настоящее время БД ЗСЕ_{пром} наполнена инструментальными и макросейсмическими сведениями о землетрясениях на территории России и стран бывшего СССР за период 1989–2013 гг.

Для перевода БД ЗСЕ_{пром} на современную систему управления данными был проанализирован состав параметров, включенных в региональные каталоги, и разработан новый вариант структуры (БД ЗСЕ). Разработанная структура БД ЗСЕ – предварительная, и будет уточняться и дополняться в процессе создания БД. В данный момент она спроектирована на основе файлов региональных каталогов в формате Excel, включающих листы четырех основных типов: «Каталоги основных параметров землетрясений», «Механизмы очагов землетрясений», «Макросейсмические данные», «Сведения о сотрясенных населенных пунктах». Для создания, эффективной организации, контроля и администрирования БД ЗСЕ решено использовать свободную объектно-реляционную СУБД PostgreSQL.

Перекрытие границ ряда регионов влечет за собой присутствие дублирующих записей одного и того же события с параметрами, определенными сетями станций соседних регионов. Поэтому предстоит разработка алгоритма привязки дублирующих записей, выбора единственного решения и расчета однотипной магнитуды (M_s или M_w). Частично эта задача будет решаться автоматически, однако в большинстве случаев потребуется экспертное решение специалиста.

Создаваемая база данных «Землетрясения Северной Евразии» является уникальным источником информации о параметрах, механизмах очагов и макросейсмических проявлениях землетрясений на территории России и соседних стран, необходимым для проведения научных исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Землетрясения Северной Евразии* [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/contents.html> (дата обращения 02.06.2021).
2. *Землетрясения в СССР в 1962–1991 гг.* – М.: АН СССР, Наука, 1964–1997.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ КОЛЫМСКОЙ ГЭС

С.В. Курткин, Е.И. Алёшина, Б.М. Седов, д.г.-м.н.,
Л.И. Карпенко, к.г.-м.н.
МФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Магадан

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) участков основных сооружений Колымской ГЭС проводилось как в предпостроечный период (1982 г.), так и по завершению строительства (2005, 2007, 2009 гг.). Значительные изменения верхней части разреза Колымской ГЭС (за счет удаления разрушенных гранитов, зачистки под сооружения, оттайки пород, строительства подземных сооружений и высокой динамики процессов развития сейсмичности) вновь потребовали проведения работ по сейсмомикрорайонированию для получения новых сейсмологических и геологических материалов для площадок основных сооружений Колымской ГЭС.

Основой сейсмического микрорайонирования является качество грунтов верхней части разреза, на которых построены сооружения [1]. Согласно карте ОСР-2015-С, выбранной в качестве основной для объектов с повышенным уровнем ответственности, сейсмическая интенсивность на средних грунтах составляет 9 баллов с периодом повторяемости один раз в 5000 лет [2].

Определение скоростей волн в верхней части разреза грунтов площадок основных сооружений было выполнено как методом непосредственной регистрации землетрясений и взрывов, так и методом акустических жесткостей. Комплекс работ осуществлялся в соответствии с нормативными документами СНиП II-7-81*, РСН 65-87 [3, 4]. По данным обоих методов, уровень сейсмичности, сейсмоакустические характеристики грунтов гранитного массива, морфология участка расположения основных сооружений Колымской ГЭС и их реакция на землетрясения являются основанием для принятия в качестве исходного максимального балла для данной территории – 8, что ниже карты ОСР-2015-С [2]. Проведенные обследования обнажений гранитов на левом и правом берегах плотины не выявили современных трещин и разрушений, понижающих их прочностные свойства. Построена «Схема сотрясаемости района основных сооружений Колымской ГЭС».

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
2. *Уломов В.И., Шумилина Л.С.* Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2015. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. – М.: ИФЗ РАН, 2015. – 57 с.
3. *СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах».* – М.: Госстрой РСФСР, 1982. – 46 с.
4. *РСН 65-87. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ.* – М.: Госстрой РСФСР, 1988. – 8 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ ПО ДАННЫМ ЗА 2017–2019 ГГ.

А.А. Лебедев, В.А. Мещерякова,
И.А. Зуева, Л.И. Бакунович
ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Непрерывный сейсмический мониторинг юго-восточной части Фенноскандинавского щита (Республики Карелии) ведется с 2017 г. после завершённой процедуры модернизации сети и установки комплектов сейсмометров CMG-6TD и CMG-3ESP [1]. Территория республики в целом считается асейсмичной, однако ее северная часть, приуроченная к сейсмогенерирующей зоне Куусамо-Кандалакша [2], а также активные разработки карьеров на блочный и строительный камень, железную руду, шунгиты, минеральное сырьё и др. делают вопрос оценки ее сейсмической опасности актуальным. Основными регистрируемыми сейсмическими событиями на записях станций Карельской сейсмической сети являются карьерные взрывы.

В сводном каталоге за 2017–2019 гг. представлено 80 событий с магнитудой $ML \leq 1.0$, 600 событий с $1.0 < ML < 2.0$ и 200 событий с $ML \geq 2.0$. Всего за период наблюдений было зафиксировано по меньшей мере 880 событий различного характера. Часть из них отсутствует в каталогах центров GSRAS, KOGSR и HEL. Отдельный интерес представила регистрация единичных взрывных работ, связанных со строительными или военными задачами, а также событий нетектонической природы (морозобойные удары, прохождение болида). Эти данные необходимо учитывать для корректной идентификации событий. На разных этапах обработки и уточнения природы конкретных событий подключались станции ФИЦ ЕГС РАН: VALR, VYB, AP0, KVDA. В результате выделено шесть землетрясений с $ML = 1.5–2.3$ с эпицентрами в Калевальском и Лоухском районах.

Исследование проведено в рамках государственного задания Института геологии КарНЦ РАН, темы НИР АААА-А18-118020290086-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов С.В., Карпинский В.В., Лебедев А.А., Мунирова Л.М., Петров С.И., Пойгина С.Г. Результаты детального сейсмического мониторинга. Непрерывные наблюдения. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 111–113.
2. Morozov A.N., Vaganova N.V., Konechnaya Y.V., Zueva I.A., Asming V.E., Noskova N.N., Sharov N.V., Assinovskaya B.A., Panas N.M., Evtyugina Z.A. Recent seismicity in Northern European Russia // Journal of Seismology. – 2020. – V. 24, Is. 1. – P. 37–53.

ВОЗМОЖНОСТИ РЕЧНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

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

Специалисты ФИЦ ЕГС РАН на протяжении ряда лет проводили сейсморазведочные работы методом ОГТ-2D на реках Восточной Сибири (Лена, Витим, Нижняя Тунгуска) [1]. Начиная с 2007 г., технология сбора полевых сейсмических данных основывалась на использовании автономных регистраторов (типа «Байкал»), настроенных на непрерывную запись и устанавливаемых вдоль речного профиля на берегу реки. Возбуждение упругого сигнала производилось в воде с помощью пневматических источников, объединенных в группу. Важная особенность такой технологии состоит в том, что излучатели и приборы регистрации работают независимо друг от друга, при этом они синхронизированы во времени с помощью систем ГЛОНАСС-GPS. Таким образом формируется набор табличных данных, позволяющих привести в однозначное соответствие время срабатывания группы источников и начало полезной записи сигнала на каждом из автономных регистраторов. Разработано специализированное программное обеспечение, позволяющее выполнять монтаж сейсмограмм с приведением их к виду, аналогичному получаемым стандартными многоканальными сейсморазведочными станциями. Длительность записи таких сейсмограмм определена геологическим заданием и составляет, как правило, от 6 до 10 с. Связано это с тем, что задание ориентировано на получение сведений только о верхней части земной коры. При этом глубинное строение огромных территорий Восточной Сибири до настоящего времени мало изучено ввиду высокой затратности исследований.

Интервал между сейсмическими воздействиями в речной сейсморазведке, как правило, составляет не менее 18 с, поэтому появляется возможность, используя непрерывные записи сейсмических регистраторов «Байкал», сформировать сейсмограммы соответствующей длительности. Целевые отраженные волны от глубинных слоев земной коры, включая поверхность Мохоровичича, по имеющимся исследованиям методом ГСЗ в Восточной Сибири, регистрируются на временах до 13–14 с. Таким образом, ожидается, что, сформировав сейсмограммы с увеличенным временем регистрации, можно без особых затрат строить временные разрезы и изучать глубинное строение земной коры на участках речных сейсморазведочных профилей.

В результате проведения экспериментальных полевых работ вдоль русла рек Лена, Витим и Нижняя Тунгуска, на профилях общей длиной около 2700 км, получен и хранится в архивах значительный объем цифровых сейсмических данных – непрерывные записи пневмоисточников с интервалом между воздействиями 18–25 с. Результаты предварительно выполненной обработки на участке профиля в нижнем течении реки Лена свидетельствуют, что полученные материалы дадут новые данные о глубинном строении малоизученных территорий Восточной Сибири.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнев В.С., Соловьев В.М., Сысоев А.П., Бабушкин С.М., Кашун В.Н., Брыксин А.А., Лисейкин А.В. Речная сейсморазведка на востоке России // Перспективы развития нефтегазодобывающего комплекса Красноярского края: Сборник материалов научно-практической конференции. – Красноярск: КНИИГиМС, 2007. – С. 143–146.

О РЕЗУЛЬТАТАХ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОДЗЕМНЫМИ ЯДЕРНЫМИ ВЗРЫВАМИ НА ТЕРРИТОРИИ КНДР

¹Е.В. Лисунов, ¹Е.М. Титов, ²С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Владивосток
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

На Дальнем Востоке Российской Федерации сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН при выполнении непрерывных сейсмических наблюдений, начиная с 2012 г., проводится непрерывный мониторинг вариаций гравитационного поля Земли совместно с сотрудниками Тихоокеанского океанологического института (ТОИ) ДВО РАН [1, 2]. Кроме этого, в районе расположения сейсмического и гравиметрического приборов сотрудниками ТОИ ДВО РАН периодически ведутся экспериментальные наблюдения с использованием лазерного измерителя вариаций давления гидросферы (гидрофоном). В результате таких совместных наблюдений удалось зарегистрировать четыре достаточно сильные сейсмические события на территории Корейской Народно-Демократической Республики, которые идентифицированы как подземные взрывы от ядерных испытаний (12 февраля 2013 г., 6 января 2016 г., 9 сентября 2016 г., 3 сентября 2017 г.). Сведения об этих событиях представлены на информационном портале ФИЦ ЕГС РАН [3].

На записях всех трех приборов, расположенных на расстоянии до 350 км от источника сигнала, четко выделяются фазы различных типов сейсмических волн, регистрируемых при поверхностных взрывах [4].

Проведенные исследования показывают достаточно хорошую сопоставимость сигналов по форме и времени, регистрируемых гравиметром и сейсмометром. Полученная информация позволила подробнее изучить проявление ядерных взрывов, дать дополнительные сведения об их мощности и проявлении на местах регистрации.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лисунов Е.В.* О регистрации землетрясений на мысе Шульца в 2012 году с использованием гравиметра «gPhone» // XIV Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник научных материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. – С. 174–178.
2. *Прошкина З.Н., Валитов М.Г., Кулинич Р.Г., Колпащикова Т.Н.* Изучение приливных вариаций силы тяжести в зоне перехода от континента к Японскому морю // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2015. – № 3, вып. 27. – С. 71–79.
3. *Информационные сообщения* // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/>
4. *Горожанцев С.В., Лисунов Е.В., Левин Ю.Н., Семенова Е.П.* О регистрации гравиметром gPhone сигнала от ядерного взрыва 12 февраля 2013 года // Теория и практика разведочной и промышленной геофизики: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Пермского университета / Гл. ред. В.И. Костицын. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. – С. 96–103.

РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ ФИЛИАЛА ПАО «РУСГИДРО»–«ДАГЕСТАНСКИЙ ФИЛИАЛ»

Х.Д. Магомедов, З.А. Адилев
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

С 2015 г. в Филиале ПАО «РусГидро»–«Дагестанский филиал» работает автоматическая сейсмологическая сеть, состоящая из 12 пунктов наблюдений, для организации сейсмологического мониторинга гидротехнических сооружений Сулакского каскада ГЭС.

Исходными данными для анализа регистрационных возможностей локальной сейсмической сети Филиала ПАО «РусГидро»–«Дагестанский филиал» являлись непрерывные суточные записи сейсмостанций.

Результаты анализа показали, что пункты наблюдения ARKG, GOCG, DBKG, KRNG, UNCG, GRBG и KRDG характеризуются относительно низким уровнем микросейсмического фона, что должно благоприятно сказаться на регистрационных возможностях аппаратуры. Пункты наблюдения BVTG, DLMG, UCKG, HNZG и GNBG характеризуются относительно повышенным уровнем микросейсмического фона. К примеру, на пункте наблюдения BVTG («Бавтугай») относительно высокой мощностью отличаются колебания, имеющие частоты 2.6, 3.1, 6.2, 8.7, 9.3, 15.5 и 25, природу которых можно отнести к индустриально-промышленной из-за круглосуточного характера их существования. Частота 3.1 совпадает с частотой вращения генераторов типа ВГС-650/130-32, эксплуатируемых на Чирюртовской ГЭС, в непосредственной близости от которой расположена станция «Бавтугай». Частоты 6.2 и 9.3 являются высшими гармониками генераторной частоты 3.1.

На основании использования накопленных данных дальностей регистрации землетрясений разных энергетических классов [1] построена карта дальности регистрации землетрясений сети Филиала ПАО «РусГидро»–«Дагестанский филиал» [2]. Для построения изолиний строились постанционные графики распределения дальности регистрации землетрясений в зависимости от энергетического класса. На полученных графиках проводились осредняющие огибающие по основной массе нижних точек, по которым определялись максимальные радиусы регистрации землетрясений. Параллельным переносом полученных огибающих вдоль оси ординат на половину деления класса (по ошибке определения класса, равной ± 0.5) были получены уверенные радиусы регистрации. Наложением на единую карту полученных данных по всем станциям для каждого энергетического класса вырисовывались искомые изолинии.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адилев З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагатовва Е.Ю., Шахмарданова С.Г. Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2019 г. – Махачкала: Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – 95 с.
2. Адилев З.А., Асманов О.А., Даниялов М.Г. Дагестан // Землетрясения Северной Евразии. – 2018. – № 21 (2012). – С. 72–79.

КРИПЕКС-АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ КРУПНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СРЕДСТВАМИ GIS-ENDDB

¹А.В. Михеева, к.ф.-м.н., ²И.И. Калинин, к.ф.-м.н.,
¹ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск
²ИФЗ РАН, г. Москва

Параметр «крипекс» (creep & explosion) несет информацию о соотношении низко- и высокочастотных составляющих излучения в очаге землетрясения и превратился в физически содержательный инструмент анализа различных аспектов сейсмогенеза [1, 2]: диагностики процессов подготовки и афтершоков сильного события, взаимосвязи сейсмогенеза с тектонической обстановкой.

Вместо канонического представления крипекса ($Cr = M_s - k \cdot m_b - l$) [3] в подсистеме анализа программ сейсмогеодинамических исследований GIS-ENDDB предложена нормированная оценка этого параметра: $Cr_N = 4(M_s - m_b) / (M_s + m_b)$ [4], приведенная к тренду осреднения зависимости $Cr_N(M_s)$ текущего каталога [5], которая позволяет подавить наблюдаемую систематическую зависимость разности ($M_s - m_b$) от величины землетрясений M_s . Для исследования в окрестности Памиро-Гиндукушской сейсмофокальной зоны используются выборки объединенного каталога ISC для круговой области радиусом 500 км за 1963–2017 гг. с собственными определениями m_b агентства ISC и определениями M_s как собственными (каталог *lcreepex* – 1560 записей), так и различных других агентств (каталог *pcreeperex*: 9734 записи). Для исследования в областях сочленения плит океанических и континентально-океанических используется каталог CSN, имеющий собственные определения M_s и m_b (*kcreepex* – 4655 записей в области 10°S–80°N, 50–180°E за период 11.03.2010–11.03.2012). На основе комплексного анализа распределения окрашенных по величине крипекса очагов землетрясений можно установить закономерности изменения этого параметра в пространстве и времени до и после рассматриваемого сильного события. Показаны характерные закономерности процессов релаксации очага континентального Кашмирского землетрясения (08.10.2005 г., $M_s=7.6$) и некоторых континентально-океанических землетрясений: Тохоку, Симуширских и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kaverina A.N., Lander A.V., Prozorov A.G.* Global creepex distribution and its relation to earthquake-source geometry and tectonic origin // *Geophysical Journal International*. – 1996. – V. 125, Is. 1. – P. 249–265.
2. *Болдырев С.А., Левина В.И.* Крипекс камчатских мелкофокусных землетрясений // *Физика Земли*. – 2008. – № 3. – С. 40–57.
3. *Прозоров А.Г., Хадсон Д.* Зависимость между MLH и MPV от региональных условий и локальных взаимосвязей // *Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений*. В 2-х т. Т. 2. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 208–216.
4. *Kalinnikov I.I., Mikheeva A.V.* The Creepex-analysis of processes in large earthquakes focal zones by the GIS-ENDDB tools on the Tohoku example // *Bulletin of the Novosibirsk Computing Center. Series: Mathematical Modeling in Geophysics*. – 2020. – V. 22. – P. 11–21.
5. *Михеева А.В., Калинин И.И.* Крипекс как параметр сейсмо-геодинамических исследований на основе геоинформационных систем // *Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Сборник трудов Всероссийской конференции с международным участием 24–27 августа 2021 г.* (В печати).

СЛАБАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ И СКОРОСТНАЯ СТРУКТУРА ЗОНЫ ПЕРЕХОДА «КОНТИНЕНТ–ОКЕАН» В ЕВРАЗИЙСКОЙ АРКТИКЕ

¹А.Н. Морозов, к.т.н., ²Н.В. Ваганова, к.г.-м.н.

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск

В конце XX в. и в начале XXI в. произошло существенное увеличение количества сейсмических станций в Евразийской Арктике, что сказалось на уменьшении порога регистрации землетрясений для отдельных районов Арктики. К таким районам, которые до последнего времени были недоступны для детального изучения сейсмичности, относится зона перехода «континент–океан» на севере Евразийского шельфа. Рассмотренные особенности пространственного распределения землетрясений этой зоны представляют определенный научный интерес. Во-первых, в силу географических и климатических условий рассматриваемый регион до сих пор остается слабо изученным. Во-вторых, полученные сейсмические данные дополнительно к имеющейся геофизической информации позволяют по-новому взглянуть на геодинамику региона.

Анализ результатов мониторинга сейсмических станций, функционирующих на архипелагах Земля Франца-Иосифа и Северная Земля, с привлечением данных сейсмических станций на архипелаге Шпицберген за период с декабря 2011 г. по ноябрь 2020 г. позволил изучить пространственно-временные особенности проявления слабой сейсмичности зоны перехода «континент–океан». Регион можно охарактеризовать как сейсмически активный. Наиболее сейсмически активными районами являются желоба Франц-Виктория, Святой Анны и район поднятия Белый и Виктория.

Установка широкополосной сейсмической станции на архипелаге Северная Земля дала возможность впервые изучить глубинное строение архипелага методом "P-, S-receiver functions" [1]. В структуре верхней мантии под архипелагом выделены границы 410 и 660 км, установлены границы фундамента на глубине 5 км, в средней коре – на глубине 20 км, Мохоровичича – на глубине 35 км. Тип коры – маломощная, континентальная. Граница литосферы–астеносферы не выделена.

Исследования выполнены в рамках тем НИР АААА-А19-119072590031-6 (ИФЗ РАН) и АААА-А18-118012490072-7 (ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. *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.

УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В РАННЕИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

¹А.Н. Морозов, к.т.н., ²Н.В. Ваганова, к.г.-м.н.,
³В.Э. Асминг, к.ф.-м.н., ¹Л.Г. Дуленцова, ³З.А. Евтюгина, к.б.н.
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
²ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск
³КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Анапты

В сейсмологии распространены исследования по уточнению параметров очагов ранее произошедших землетрясений в исторический и раннеинструментальный периоды. Как правило, уточнение происходит спустя некоторое время, когда появляется возможность привлечь дополнительные макросейсмические или инструментальные данные, появляются уточненные скоростные модели, новые методические подходы и математические алгоритмы.

В настоящее время, благодаря таким проектам как ISC-GEM (International Seismological Centre-Global Earthquake Model) catalog [1] и EuroSeismos (ES), а также открытому доступу к архивным фондам ФИЦ ЕГС РАН, у исследователей появилась возможность изучать бюллетени и сейсмограммы сейсмических станций, функционировавших с начала инструментального периода. Это позволяет оценивать параметры очагов землетрясений на основе наиболее полных инструментальных данных даже в тех случаях, когда еще совсем недавно параметры очага оценивались только по макросейсмическим данным с применением современной скоростной модели и усовершенствованных методов локации.

К подобным работам можно отнести исследование (*Bungum et al.*, 2009) по уточнению параметров землетрясения Oslofjord с $MS=5.4$, произошедшего в Фенноскандии 23 октября 1904 г.; исследование (*Niemz, Amorèse*, 2016) по уточнению параметров землетрясения 10 ноября 1935 г. в районе Montserrat; исследование (*Никонов, Чепкунас*, 2009) по уточнению параметров Сысольского землетрясения 13 января 1939 г. на севере Европейской части России; исследование (*Маловичко и др.*, 2020) по уточнению параметров сильнейшего на Урале Билимбаевского землетрясения 1917 г.; исследования (*Morozov et al.*, 2018, 2019a, 2019b) по уточнению параметров очага землетрясений в Арктике, а также исследования по созданию каталога ISC-GEM (1904–2014 гг.) [1].

Таким образом, в настоящее время созданы благоприятные условия для проведения исследований по уточнению параметров гипоцентров землетрясений, зарегистрированных в раннеинструментальный период.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 (ФИЦ ЕГС РАН) и темы НИР АААА-А18-118012490072-7 (ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН). Исследования по уточнению параметров очагов землетрясений на севере ВЕП и в Арктике выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 18-05-70018 и 19-05-00481).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Storchak D.A., Giacomo D., Bondara I., Engdahl E.R., Harris J., Lee W.H.K., Villasenor A., Bormann P.* Public release of the ISC-GEM Global instrumental earthquake catalogue (1900–2009) // *Seismological Research Letters*. – 2013. – V. 84, N 5. – P. 810–815. doi: 10.1785/0220130034

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕСТ УСТАНОВКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ХАРАКТЕР ЗАПИСЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

^{1,2}Л.И. Надёжка, к.г.-м.н., ¹Э.И. Золототрубова, ^{1,2}И.Т. Ежова
¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж
²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

На территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в 2021 г. функционируют десять сейсмических станций, из которых пять организуют Воронежскую региональную сеть, остальные пять – локальную сеть. Все сейсмические станции оснащены однотипными регистраторами и сейсмоприемниками. Анализ записей микросейсмического шума в районе установки каждой сейсмической станции показал, что микросейсмический шум – невысокий. Спектральные амплитуды в частотном диапазоне 1.0–20.0 Гц не превышают 0.1 мкм/с, однако морфология амплитудно-частотного спектра микросейсмического шума в районе каждой сейсмической станции имеет специфические черты. Анализ записей телесейсмических землетрясений, произошедших на разных расстояниях от станций, четко показал избирательность геологической среды в разных частотных диапазонах в районе разных станций. Этот же эффект отчетливо проявляется в записях промышленных взрывов и местных землетрясений.

Выполнен анализ особенностей записей сейсмических событий разной природы и разной интенсивности на каждой сейсмической станции, а также геологических и геофизических характеристик в районе расположения станций (в радиусе 25 км от станции). Он показал, что существенное влияние на характер записи событий оказывают мощность осадочного чехла и его вещественный состав, вещественный состав и состояние петрофизических комплексов в эрозионном срезе докембрия, наличие на расстоянии до 25 км тектонического нарушения, а также электропроводность пород осадочного чехла и эрозионного среза докембрия. Кроме того, отмечается, что на запись сейсмических событий влияют характер распределения скорости и плотности в кристаллической коре и ее мощность [1]. Выявлено, что на записи телесейсмических землетрясений влияет переходный слой кора–мантия в районе установки станции.

Выполненные исследования показали, что при выборе мест установки сейсмических станций, кроме экономико-географической ситуации и интенсивности микросейсмического шума, необходимо большое внимание уделять геологическим и геофизическим характеристикам земной коры района установки станций. При этом низкий уровень микросейсмического шума еще не означает, что сейсмическая станция будет оптимально регистрировать сейсмические события разной природы и разной интенсивности.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Надёжка Л.И., Золототрубова Э.И., Ефременко М.А., Калинина Э.В., Ежова И.Т.* Особенности геологического строения и микросейсмический шум в районе сейсмических станций Курской локальной сети // Результаты комплексного изучения сильнейшего Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г., его место в ряду важнейших сейсмических событий XXI в. на территории России. Материалы научно-практической XXI Щукинской конференции с международным участием. – М.: ИФЗ РАН, 2018. – С. 247–251.

ПРИРОДНАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВОСТОЧНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ

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

В геологическом отношении восточная часть Оренбургской области по своему расположению входит в состав Уральской разломно-надвиговой провинции и имеет сложное геологическое строение с многочисленными тектоническими нарушениями [1] и естественной сейсмической активностью с прогнозным уровнем сейсмической активности по картам ОСР-2016 до 5 баллов. Однако в пределах восточной части Оренбургской области, по данным Казахстанского национального центра данных, фиксируется большое количество сейсмических событий. Так, в 2016 г. зафиксировано 797 сейсмических событий, в 2017 г. – 773, в 2018 г. – 760, в 2019 г. – 712, в 2020 г. – 758 событий с магнитудами от 1.5 до 3.6 с очевидным увеличением их плотности распределения на двух участках: Орск–Гай–Новоорск и Ясный–Домбаровский.

Исследования, проводимые отделом геоэкологии ОФИЦ УрО РАН [2], показали, что массовые взрывные работы, используемые при добыче твердых полезных ископаемых, коррелируются с сейсмическими событиями на данной территории и могут являться их инициаторами. Выявлена зависимость времени регистрации сейсмических событий от времени проведения взрывных работ, осуществляемых в шахтах и карьерах Гайского ГОКа и рудников АО «ОРМЕТ». Анализ сейсмических явлений, зарегистрированных в 2017–2020 гг. в радиусе до 20 км от предприятий, показал, что их подавляющее большинство произошло в первые два часа после времени начала проведения взрывных работ. Причем доля событий, зарегистрированных в первые два часа, уменьшается с увеличением расстояния от рудников.

Для обеспечения безопасности зданий и сооружений, а также населения, проживающего на территории Восточного Оренбуржья, необходим постоянный сейсмический мониторинг и дальнейшие научно-исследовательские работы по данной тематике. Это позволит отслеживать сейсмическую ситуацию, а также выработать алгоритм управления индуцированной сейсмической активностью на участках разработки месторождений твердых полезных ископаемых и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

К сожалению, на территории восточной части Оренбургской области, где расположены многочисленные рудники, шахты и карьеры, а также Ириклинская ГЭС и ее водохранилище, нет ни одной сейсмической станции.

Для получения достоверной информации о сейсмической обстановке, чтобы иметь возможность управления индуцированной сейсмической активностью, необходимо создать региональную сейсмическую сеть, входящую в состав федеральной сети сейсмологических наблюдений (ФССН). Такую же позицию занимают Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (МПР РФ) и Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН» (ФИЦ ЕГС РАН).

ЛИТЕРАТУРА

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

СЕЙСМИЧНОСТЬ В ПРЕДЕЛАХ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ ЗА ПЕРИОД ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ

¹М.Г. Очковская, ¹Н.А. Гилёва, ^{1,2}Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н.

¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Байкальская природная территория (БПТ) – это территория, в состав которой входят озеро Байкал, водоохранная зона, прилегающая к озеру Байкал, его водосборная площадь в пределах территории Российской Федерации, особо охраняемые природные территории (ООПТ), прилегающие к озеру Байкал, а также прилегающая к озеру Байкал территория шириной до 200 км на запад и северо-запад от него [1].

Высокий сейсмический потенциал Байкальского региона подтверждается макро-сейсмическими сведениями о сильных землетрясениях исторического прошлого, данными о палеоземлетрясениях, полученными геологическими методами, и информацией более чем о 250 тыс. землетрясений широкого энергетического диапазона, зарегистрированных инструментально. Например, при одном из сильнейших исторических землетрясений – Цаганском 1862 г. (магнитуда $M=7.5$) – произошло опускание прибрежного блока и образование залива Провал площадью 203 км². При Среднебайкальском землетрясении 1959 г. ($M=6.9$) произошло опускание участка дна на протяжении примерно 10 км.

Байкальская природная территория за инструментальный период характеризовалась высокой сейсмической активностью. В этот период были зарегистрированы сильные землетрясения (интенсивность сотрясений в эпицентре I_0 до 8–9 баллов, M до 5.5–6.5).

Южно-Байкальское землетрясение 25.02.1999 г. ($M_w=6.0$, $I_0=8$) произошло в акватории Байкала, на удалении от больших городов. Макросейсмические эффекты проявились в ближайших населенных пунктах (Танхой, Выдрино, Кедровая, Листвянка, порт Байкал), где преобладали повреждения I, реже II степени (по шкале MSK-64): частичное и полное разрушение дымовых кирпичных труб, растрескивание печной кладки, оконных стекол, вскрытие антисейсмических швов, сквозные трещины в стенах кирпичных домов и т.п. Кичерское землетрясение 21.03.1999 г. ($M_w=6.0$) ощущалось на значительной территории Байкальского региона. В наиболее близких к эпицентру населенных пунктах интенсивность сотрясений достигала 6–7 баллов. Куморское землетрясение 16.09.2003 г. ($M_w=5.6$) с наибольшей интенсивностью ($I=5–6$) проявилось в поселке Уоян на расстоянии около 20 км. Култукское землетрясение 27.08.2008 г. ($M_w=6.3$, $I_0=8–9$) ощущалось на большой территории Сибири – от Красноярска на западе до Читы на востоке и от Северобайкальска на севере до Улан-Батора на юге. В ближайшем к эпицентру населенном пункте – поселке Култук ($I=7–8$) – были повреждены многие здания и жилые дома, пострадало здание школы. В Иркутске это землетрясение вызвало частичную панику, люди выходили на улицу и боялись возвращаться в дома. Сотовая связь из-за перегрузки работала с перебоями. Жертв не было.

По данным последних десяти лет, в пределах БПТ в среднем ежегодно регистрируется более 5 тыс. слабых и сильных землетрясений, эпицентры 70% из них расположены в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Схема расположения Байкальской природной территории* // Охрана озера Байкал [сайт]. – URL: <http://geol.irk.ru/baikal/terr/mterreczond/terrshembpt>

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОГО СКЛОНА БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

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

Динамические параметры очагов землетрясений – сейсмические моменты M_0 , радиусы r , величины падения напряжения $\Delta\sigma$ – характеризуют особенности процесса деструкции сейсмогенной среды. Эти параметры в большом количестве определены повсеместно в мире для землетрясений большой и средней величины. Динамические параметры слабых тектонических землетрясений практически не охарактеризованы, особенно для Фенноскандии. В данной работе получена сводка указанных величин для землетрясений с $M_w=1-2$, имевших место на юго-восточном склоне Балтийского щита в 2009–2019 гг. Методика описана во многих работах [1–3]. Расчет параметров применим для слабых землетрясений, если имеются качественные исходные данные.

Исследования проводились по данным Санкт-Петербургской цифровой сейсмической сети. Сейсмические события представляют собой два роя известного финского землетрясения Аньяланкоски и российского Эркиля, возникшего в районе одноименного карьера на территории Карельского перешейка. Оба роя геологически приурочены к интрузии рапакиви. В процессе исследований по сейсмограммам сети построены спектры прямых волн S_g , рассчитаны значения радиуса очага, сейсмического момента и падения (снятия) напряжений для упомянутых землетрясений (табл.). Полученные результаты выявили разброс в величинах радиуса источника и падения напряжения при магнитудах меньше 2, которые надо исследовать.

Таблица.

№	Дата, дд.мм.гггг	φ , °N	λ , °E	h , км	M	R , км	f_0 , с ⁻¹	Ω_0 , м·с	M_0 , Н·м	r , м	$\Delta\sigma$, МПа
1	13.10.2011	61.13	27.02	5.0	1.8	156.96	5.63	$9.06 \cdot 10^{-7}$	$3.60 \cdot 10^{14}$	259	14.42
2	06.03.2014	60.75	28.82	2.0	1.1	54.43	9.59	$3.95 \cdot 10^{-7}$	$5.49 \cdot 10^{13}$	141	8.50
3	16.12.2014	61.06	27.33	1.0	1.9	142.08	6.91	$2.00 \cdot 10^{-6}$	$7.26 \cdot 10^{14}$	196	42.01
4	16.02.2015	60.83	26.80	2.0	1.0	175.95	8.35	$2.01 \cdot 10^{-7}$	$8.69 \cdot 10^{13}$	171	7.38
5	17.06.2015	60.83	26.82	2.0	1.9	174.84	9.03	$1.33 \cdot 10^{-6}$	$5.59 \cdot 10^{14}$	162	41.74
6	01.09.2015	60.48	26.95	1.5	1.0	152.08	8.05	$2.35 \cdot 10^{-7}$	$9.13 \cdot 10^{13}$	168	8.35
7	04.09.2015	60.91	26.71	2.0	0.9	197.59	10.38	$4.20 \cdot 10^{-8}$	$2.12 \cdot 10^{13}$	131	4.16
8	07.10.2015	61.04	29.03	2.0	2.1	66.63	6.16	$4.42 \cdot 10^{-6}$	$7.53 \cdot 10^{14}$	220	30.87
9	18.12.2016	60.75	28.82	2.0	2.2	86.05	9.78	$5.96 \cdot 10^{-6}$	$9.66 \cdot 10^{14}$	139	144.09
10	18.12.2016	60.74	28.84	1.0	1.5	99.90	8.27	$3.14 \cdot 10^{-7}$	$6.14 \cdot 10^{13}$	170	6.85
11	18.12.2016	60.73	28.85	2.0	0.8	52.21	7.22	$1.20 \cdot 10^{-8}$	$1.60 \cdot 10^{12}$	188	1.06
12	18.12.2016	60.74	28.84	1.0	1.2	53.29	8.36	$7.30 \cdot 10^{-8}$	$9.94 \cdot 10^{12}$	162	1.02
13	06.05.2018	60.82	29.04	2.0	1.4	123.23	11.30	$4.00 \cdot 10^{-8}$	$1.26 \cdot 10^{13}$	120	3.19
14	28.04.2019	60.95	26.91	1.5	2	175.94	8.04	$9.61 \cdot 10^{-7}$	$4.02 \cdot 10^{14}$	171	28.32
15	01.06.2019	60.90	26.72	0.5	1.3	182.59	9.18	$2.26 \cdot 10^{-7}$	$1.01 \cdot 10^{14}$	150	11.74

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ризниченко Ю.В.** Элементарная теория вертикальных сеймотектонических движений // Доклады АН СССР. – 1976. – Т. 226, № 2. – С. 324–327.
2. **Brune J.** Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // Journal of Geophysical Research. – 1970. – V. 75. – P. 4997–5009.
3. **Brune J.** Correction // Journal of Geophysical Research. – 1971. – V. 76. – P. 5002.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИБАЙКАЛЬЯ ПРИ АФТЕРШОКОВЫХ И РОЕВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ

А.А. Папкина, Н.А. Гилёва
БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Прибайкалье является одним из наиболее сейсмоактивных регионов России. Наблюдение за развитием сейсмического процесса здесь осуществляется региональными сетями БФ ФИЦ ЕГС РАН (25 станций) и БуФ ФИЦ ЕГС РАН (десять станций).

Прикладной задачей сейсмического мониторинга является изучение локальной сейсмической активности. Цель проведения таких работ – получение достоверной информации о глубинах землетрясений и анализ механизмов очагов землетрясений.

Примерами организации локального сейсмического мониторинга являются: 1 – сеть из восьми временных цифровых сейсмических станций, установленная БФ ФИЦ ЕГС РАН совместно с ИФЗ РАН в первые дни после Култукского землетрясения 27.08.2008 г. ($M_w=6.3$, $I_0=8-9$) на юге оз. Байкал; 2 – временная сеть из шести сейсмостанций, развернутая при содействии сотрудников ВСЖД в январе 2015 г., когда активизировался сейсмический процесс на территории Северо-Муйского района Байкальской рифтовой зоны (БРЗ); 3 – семь станций, установленных совместно с ИЗК СО РАН через 19 часов после Быстринского землетрясения 21.09.2020 г. ($M_w=5.5$) на юго-западном фланге БРЗ; 4 – две временные сейсмостанции (работающие по сегодняшний день), выставленные на расстоянии менее 100 км от очага после Хубсугульского события 11.01.2021 г. ($M_w=6.8$) вблизи границы с Монголией.

Использование материалов наблюдений локальных сетей позволило увеличить число зарегистрированных землетрясений за счет слабых событий, а также улучшить точность их локализации. С момента главного толчка Култукского землетрясения до конца 2008 г. было зарегистрировано около 1800 афтершоков с $K_p \geq 4$ [1]. Для Муяканской последовательности за полтора месяца действия локальной сети зарегистрировано более 14 тыс. землетрясений с $K_p=3-6$. Удалось установить, что гипоцентры большинства землетрясений Муяканской последовательности располагаются на малых глубинах ($h=4-10$ км) [2], при этом основным режимом сеймотектонического деформирования земной коры являлось субгоризонтальное СЗ-ЮВ растяжение. Также оценены глубины афтершоков Хубсугульской последовательности в пределах 11–26 км.

Системы мониторинга, совмещенные с локальными сейсмическими группами, могут эффективно использоваться для различного рода научных и прикладных исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-05-00823).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Середкина А.И. Култукское землетрясение 27 августа 2008 г. с $M_w=6.3$, $I_0=8-9$ (Южный Байкал) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 386–407.
2. Гилёва Н.А., Масальский О.К., Кобелева Е.А. Эпицентральная область Муяканской последовательности землетрясений (Бурятия) // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 103–107.

ОБЗОР ЛАЗЕРНЫХ ДЕФОРМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ В ПЕРИОД С 1994 ПО 2015 Г.

^{1,2}М.Д. Парушкин, ²С.В. Панов, ¹А.Ю. Рыбушкин,
³В.Ю. Тимофеев, д.ф.-м.н., ¹Ю.Н. Фомин
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²ИЛФ СО РАН, г. Новосибирск
³ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

На протяжении последних 30 лет в АСФ ФИЦ ЕГС РАН и Институте лазерной физики СО РАН ведется разработка лазерных деформографических комплексов, которые успешно зарекомендовали себя в рамках решения задач по долговременному мониторингу деформационных процессов в земной коре в условиях штольни [1, 2]. Отличительная особенность разрабатываемых деформографов заключается в применении компенсационного плеча постоянной длины, позволяющего исключить влияния атмосферы на измерительной трассе без применения дополнительной экранировки луча. Наиболее представительным примером применения разрабатываемых деформографов является непрерывная регистрация деформационных процессов в штольне сейсмостанции «Талая» расположенной на территории Байкальской рифтовой зоны ($\varphi=51^{\circ}40'48''N$, $\lambda=103^{\circ}38'24''E$) в период с 1994 по 2015 год. За более чем 20-летний период непрерывного мониторинга, благодаря надежности регистрируемой аппаратуры, был накоплен обширный экспериментальный материал, представляющий непрерывные записи ~72% времени наблюдения, при этом 85% имеющихся записей подготовлены к обработке и анализу. Благодаря своим характеристикам, комплекс позволил впервые зафиксировать ряд особенностей деформационного процесса в период подготовки землетрясений [3, 4]. В представляемом докладе описывается как методика проведения эксперимента, включая описания аппаратуры и условий наблюдения, так и дается характеристика зарегистрированного материала в терминах полноты записей и их распределения по месяцам и годам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багаев С.Н., Борисов Б.Д., Орлов В.А., Фомин Ю.Н. Лазерный доплеровский измеритель сверхмалых скоростей // Лазеры и современное приборостроение: Материалы школы-семинара-выставки. – СПб., 1991. – С. 118–120.
2. Парушкин М.Д., Панов С.В., Семибаламут В.М., Фомин Ю.Н. Гетеродинный лазерный деформограф для геофизических исследований // Актуальные проблемы современной сейсмологии. Сборник материалов Международной конференции. – Ташкент: ИС АН РУз, 2016. – С. 293–299.
3. Орлов В.А., Панов С.В., Парушкин М.Д., Фомин Ю.Н. Особенности деформаций земной коры накануне близкого сильного землетрясения по данным высокочувствительных лазерных измерений // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Труды Всероссийской конференции, посвященной 80-летию академика Е.И. Шемякина. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010. – С. 30–37.
4. Багаев С.Н., Орлов В.А., Парушкин М.Д., Фомин Ю.Н. Землетрясения в районе Байкальской рифтовой зоны и сопряженные с ними деформационно-волновые процессы в земной коре // Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов: Т. 2. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – С. 131–151.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРМЕНИИ

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

Территория Армении характеризуется зональным строением, обусловленным разграничивающими ее четырьмя зонами разломов глубокого заложения: Лалвар-Мравская, Базумо-Севанская, Анкаван-Сюникская и Ереванская зоны разломов [1]. В гидрогеологическом отношении территория Армении представляет собой высокоприподнятую область дренажа и относится к зоне интенсивного водообмена с направлением стока поверхностных вод от складчатого сооружения в сторону Куринской и Среднеараксинской депрессий [2]. Подземные воды Центральной Армении относятся к межгорной Араратской котловине. Араратская котловина является областью накопления подземного стока и формирования грунтовых и напорных водоносных горизонтов и включает большие запасы минеральных вод, приуроченные к терригенно-карбонатным породам палеозоя. Приуроченность минеральных вод к глубинным тектоническим разломам, для которых характерна повышенная геодинамика, отражается на гидрогеохимическом составе минеральных вод аномальными изменениями некоторых химических параметров. Гидрогеохимические наблюдения ведутся над минеральными водами Бжни, Арзни, Веди и Суренаван, источники которых расположены вдоль основных разломов, близких к общекавказскому простиранию и являющихся основными сейсмогенными структурами на территории Центральной Армении.

Среди геологических образований пород четвертичного возраста особое место занимают покровы и потоки лав. Региональные тектонические нарушения представлены Гарнийским, Араратским и Ереванским глубинными разломами [3]. Геофизический мониторинг геодинамического режима Центральной Армении включает гидрогеохимические наблюдения над химическим составом подземных вод, а также растворенного в воде углекислого газа, изменением напряженно-деформированного состояния земной коры и их сравнение с сейсмичностью. Целью гидрогеохимического метода является выявление и изучение гидрогеохимических эффектов изменения напряженно-деформированного состояния среды, как индикаторов современных геодинамических процессов. Характер проявления геохимических аномалий зависит от параметров готовящегося сейсмического события – магнитуды (M) и эпицентрального расстояния (D). Показано пространственно-временное распределение геодинамической напряженности, связанной с деформационными изменениями земной коры в результате произошедших сейсмических событий. Составленная карта напряженно-деформированного состояния земной коры центральной территории региона отражает напряженные участки. Проведена корреляция между напряженными участками земной коры и химическими компонентами подземных вод, выявленная в результате активации сейсмичности [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асланян А.Т.* Региональная геология Армении. – Ереван: Айпетрат, 1968. – 408 с.
2. *Геология Армянской ССР. IX. Минеральные воды.* – Ереван: АН Армянской ССР, 1969. – 524 с.
3. *Гидрогеология СССР. Том XI. Армянская ССР* / Ред. А.М. Овчинников. – М.: Недра, 1968. – 351 с.
4. *Ахвердян Л.А., Пашаян Р.А., Арутюнян Л.В.* Связь между вариациями напряженно-деформированного состояния земной коры и сейсмической активностью на территории Армении // Доклады НАН РА. – 2018. – Т. 118, № 3. – С. 260–267.

О ВЛИЯНИИ ГЛУБИНЫ И РАССТОЯНИЯ НА ОЦЕНКИ МАГНИТУД ПО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОЛНАМ

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

Магнитуда по поверхностным волнам до сих пор остается одной из самых массовых характеристик величины умеренных и сильных землетрясений ($M_S > 5.5$) в каталогах землетрясений стран постсоветского пространства, где она традиционно использовалась для унификации по магнитуде каталогов, подготавливаемых для сейсмического районирования, т.к. именно для нее установлены уравнения затухания макросейсмической интенсивности I , указанной на картах районирования. Однако M_S , в отличие от моментной магнитуды M_W , обладает существенным недостатком – зависимостью от глубины.

В [1] исследована зависимость от глубины магнитуд по поверхностным волнам Релея M_S , которые представлены в Сейсмологическом бюллетене (сеть телесеизмических станций) ФИЦ ЕГС РАН (СБ) [2]. В отличие от магнитуд M_S международных центров USGS и ISC, определяемых для землетрясений с глубинами до 50–60 км, M_S определяется в СБ не только для поверхностных и коровых очагов, но и для промежуточных и глубоких землетрясений, при этом поправки не вносятся. В [1] предложены поправки dM_{Sh} для землетрясений с $h > 40$ км, компенсирующие уменьшение M_S с глубиной, которые при глубинах порядка 600 км достигают $dM_{Sh} = 1$. Полученные результаты стимулировали продолжение исследований по установлению факторов, влияющих на стационарные значения M_S , таких как эпицентральное расстояние и частотный состав колебаний в максимуме поверхностных волн, заложенные в формулу из [3] расчета M_S :

$$M_S = \lg(A/T) + 1.66 \cdot \lg \Delta + 3.3. \quad (1)$$

В работе использованы стационарные данные за 2013–2018 гг. из СБ [2]. Также в качестве опорной использовалась моментная магнитуда M_{WGCMT} , из которой рассчитывались не зависящие от глубины расчетные M_{Sc} (индекс «с» означает «расчетная»), используя формулу связи:

$$M_{Sc} = (\ln(M_{WGCMT} - 2.863) + 0.222) / 0.233. \quad (2)$$

С этой магнитудой сравнивались стационарные значения M_{Sh} без поправки за глубину для землетрясений с $h < 50$ км, либо исправленные за глубину согласно [1] при $h \geq 50$ км. Установлена значимая логлинейная зависимость невязок $dM_{S\Delta} = M_{Sc} - M_{Sh}$ от эпицентрального расстояния $dM_{S\Delta} = f(r)$, с применением которой в качестве поправки за расстояние получено отсутствие тренда стационарных значений M_S . Данный подход рекомендуется использовать в рутинной сейсмологической практике для повышения надежности и точности оценок M_S на малых эпицентральных расстояниях. Это особенно важно в слабосейсмичных районах, где практически отсутствуют записи землетрясений с возможностью определения M_S на расстояниях больше 20°.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. Petrova N.V., Gabsatarova I.P. Depth corrections to surface-wave magnitudes for intermediate and deep earthquakes in the regions of North Eurasia // Journal of Seismology. – 2020. – V. 24. – P. 203–219. doi: 10.1007/s10950-019-09900-8
2. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/
3. Ванек И., Затопек А., Карник В., Кондорская Н.В., Ризниченко Ю.В., Саваренский Е.Ф., Соловьев С.Л., Шебалин Н.В. Стандартизация шкалы магнитуд // Известия АН СССР. Серия геофизическая. – 1962. – № 2. – С. 153–158.

ОСОБЕННОСТИ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В НЕКОТОРЫХ СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Н.В. Петрова, к.ф.-м.н., И.П. Габсатарова, к.ф.-м.н.,
Р.А. Дягилев, к.ф.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

В задаче адекватной оценки сейсмической опасности территорий одним из ключевых моментов является знание модели распространения сейсмического эффекта $I(M, r)$ в рассматриваемом регионе. Для большинства сейсмоактивных регионов бывшего СССР эти особенности уточнены в ходе работ по созданию карт Общего сейсмического районирования в виде коэффициентов b, v, c [1] уравнения макросейсмического поля Блейка-Шебалина:

$$I_i = bM - v \cdot \lg r + c. \quad (1)$$

По мере накопления новых данных в БД «Сильные и ощутимые землетрясения России и сопредельных стран» [2], проводятся работы по уточнению региональных коэффициентов уравнения (1) [3, 4]. Для слабосейсмичных территорий Восточно-Европейской платформы (ВЕП), Урала, Западной Сибири и Туранской плиты эти коэффициенты из-за недостатка макросейсмических данных были приняты в [1] равными осредненным по мировым данным ($b=1.5, v=3.5, c=3.0$). Однако опубликованные результаты исследования макросейсмического эффекта отдельных землетрясений на указанных территориях, например, 6- и 6–7-балльных Калининградских землетрясений 2004 г. с $M_S=4.1$ и 4.3, или Карагандинского 2014 г. с $M_S=4.0, I_0=5-6$ баллов в Центральном Казахстане, указывают на отклонения от осредненного закона.

Обобщены макросейсмические сведения о современных землетрясениях на указанных территориях, на основе которых получены отличные от осредненных уравнения макросейсмического поля для территорий ВЕП, Урала и Туранской плиты. При этом недостаток сильных землетрясений на этих территориях компенсировался методом объединения данных по отдельным близлежащим событиям на сводном графике $I-1.5 \cdot M = f(\lg r, c)$. Аналитические выражения этих графиков для разных районов получены двумя методами: наименьших квадратов (МНК) и максимального правдоподобия (ММП). Установлено, что законы затухания для землетрясений Урала, Центрального Казахстана (Туранская плита), западной и восточной частей ВЕП отличаются пониженным относительно среднего значения затуханием ($v < 3$), тогда как затухание при землетрясениях в южной части ВЕП, граничащей с сейсмоактивными орогенами, подчиняется общему закону типа (1) с осредненными коэффициентами.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* – М.: Наука, 1977. – 536 с.
2. *Петрова Н.В., Диденко В.И., Морозова А.Д.* Разработка базы данных «Сильные и ощутимые землетрясения России и сопредельных стран» // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 191–196.
3. *Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Петрова Н.В., Узаров А.Н., Малаева Н.С.* Влияние особенностей затухания сейсмической интенсивности на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 5. – С. 23–37. doi: 10.31857/S0869-78092019523-37
4. *Петрова Н.В., Дягилев Р.А., Габсатарова И.П.* Особенности затухания сейсмического эффекта землетрясений Русской платформы и Урала // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 5–25. doi: 10.21455/VIS2020.4-1

ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ШКАЛЫ M_S ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТУД ТЕХНОГЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

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

На территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) функционирует более 20 промышленных карьеров, в которых добыча полезных ископаемых ведется с применением буровзрывных работ [1], мощность одновременно подрываемых зарядов и сама методика производства работ в каждом из карьеров различны. Инструментальный сейсмологический мониторинг территории ведется с 1996 г. в лаборатории сейсмического мониторинга (ЛСМ) ВКМ совместными усилиями ФИЦ ЕГС РАН и Воронежского государственного университета. За время работы зарегистрировано более 9000 сейсмических событий, вызванных взрывными работами в этих карьерах.

При обработке локальных и местных сейсмических событий в ЛСМ ВКМ для энергетических характеристик используется номограмма Раутиан для определения энергетического класса K_p [2]. В процессе работы обнаружилось расхождение величины значений энергетических классов одного и того же техногенного сейсмического события, зарегистрированного различными станциями на разных расстояниях от эпицентра [3]. Вместе с тем, при регистрации тектонических землетрясений величина значений K_p , определенных на разных станциях, имеет разброс в пределах допустимой ошибки. Это объясняется тем, что при формировании волнового поля, вызванного промышленными взрывами, поперечные волны очень слабые, а при определении K_p величина амплитуды этих волн является определяющей.

Различные методики определения энергетических характеристик сейсмических событий в различных регионах, расположенных как в складчатых областях, так и в пределах древних платформ, в условиях ВКМ не дают устойчивых результатов. При этом разброс значений определенных энергетических параметров существенно отличается как для одного сейсмического события, так и для одной регистрирующей станции.

В ранее опубликованных работах [1, 3] было показано, что на территории ВКМ при регистрации техногенных сейсмических событий четко выделяются поверхностные волны. Нами было сделано предположение, что для оценки энергетических характеристик сейсмических событий, вызванных промышленными взрывами, можно использовать магнитуду, определяемую по поверхностной волне на вертикальной компоненте M_S .

Произведены экспериментальные определения магнитуды M_S для техногенных сейсмических событий. Полученные результаты демонстрируют значительно меньший разброс значений M_S , более достоверный результат и большее количество замеров магнитуды.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России* // Под. ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: ГЕОС, 2013. – 384 с.
2. *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.
3. *Дубянский А.И., Ефременко М.А., Пивоваров С.П.* Оценка энергетического класса техногенных сейсмических событий в условиях Воронежского кристаллического массива // Вестник НЯЦ. – 2018. – № 2. – С. 125–128.

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕСЧЕТА ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН ВО ВРЕМЕННЫЕ РАЗРЕЗЫ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ГОДОГРАФЫ

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

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²АО «СНИИГГуМС», г. Новосибирск

Приведены результаты автоматизированного изучения сейсмической структуры верхней части земной коры в створе Северо-Восточного участка опорного профиля 3-ДВ методом динамического пересчета преломленных волн [1]. Динамический пересчет позволяет автоматически выделять поля преломленных волн, нагоняющие годографы которых параллельны, и подавлять сигналы волн с непараллельными нагоняющими годографами и случайные помехи. Северо-Восточный участок опорного профиля 3-ДВ пересекает границу между Евразийской и Охотоморской литосферными плитами. Тектоническими структурами меньшего порядка являются Аян-Юряхский, Иньяли-Дебинский и Среднеканский тектонические блоки, а также Оротукано-Балыгычанское поднятие [2].

В результате анализа построенных временных разрезов и динамических годографов определены области прослеживания преломленных волн в разных структурах вдоль профиля. По различиям частотных спектров зарегистрированных сигналов и трасс временных разрезов [3] по всей длине профиля осуществлен автоматизированный контроль эффекта рефракции волн. Выявлена сильная рефракция в верхней части земной коры в Аян-Юряхском блоке (коэффициент рефракции составляет $0.16-0.18 \text{ км}^{-1}$). Показано, что в верхней части земной коры областей Иньяли-Дебинского блока, Среднеканского блока и Оротукано-Балыгычанского поднятия рефракция незначительна (коэффициент рефракции изменяется от 0.05 до 0.08 км^{-1}). С использованием построенных динамических годографов продольных и поперечных преломленных волн получен детальный сейсмический разрез по всей длине Северо-Восточного участка, охватывающий интервал глубин $0-2 \text{ км}$. По всей длине профиля прослежены пологозалегающие преломляющие границы как литологического происхождения (в Аян-Юряхском блоке), так и не являющиеся литологическими (в зоне Иньяли-Дебинского блока). Прослежены Чай-Юринский и Дебинский разломы, являющиеся границами между Аян-Юряхским и Иньяли-Дебинским блоками с одной стороны, и Иньяли-Дебинским и Среднеканским блоками с другой. По изменениям значений отношения скоростей P - и S -волн в верхней части земной коры выявлены зоны, перспективные на месторождения рудных полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Коршик Н.А. Динамический пересчет головных волн при обработке данных сейсморазведки // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 10. – С. 1031–1045.
2. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Сальников А.С., Шibaев С.В., Тимофеев В.Ю., Лисейкин А.В., Шенмайер А.Е. Особенности сейсмического строения области сочленения Евразийской и Охотоморской плит на востоке России (в створе опорного профиля 3-ДВ) // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 11. – С. 2044–2058.
3. 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.

МОНИТОРИНГ ПОЛИГОНА «БЕЛЬТИР» В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ МЕТОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

¹П.В. Пономарев, ²Н.Н. Неведрова, д.г.-м.н.

¹СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время для изучения строения внутригорных впадин Горного Алтая широко используются активные электромагнитные методы постоянного и переменного тока. Наиболее крупная из подобных структур – Чуйская впадина – расположена в юго-восточной части Горного Алтая [1]. Регулярные наблюдения методами с контролируемым источником (электрические и нестационарные электромагнитные зондирования, ВЭЗ, ЗС, электротомография), сосредоточенные большей частью в эпицентральной зоне разрушительного Чуйского землетрясения, были начаты в 2004 г. и продолжаются по сей день. Каждый год выполняются новые измерения методами ВЭЗ и ЗС для уточнения строения впадины. Кроме того, существует целый ряд режимных пунктов для различных методов электроразведки, измерения в которых повторяются ежегодно [2, 3].

В статье рассмотрены результаты исследований методами вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и электротомографии. Работы проведены в области, наиболее близкой к эпицентру разрушительного Чуйского землетрясения (27.09.2003 г. с $M=7.3$) в долине реки Чаган, в устье которой расположен поселок Бельтир, наиболее пострадавший от последствий землетрясения. В верховьях реки Чаган после землетрясения образовалась система трещин, ориентированных преимущественно с северо-запада на юго-восток. Сейсмические дислокации наблюдались на поверхности долины в виде протяженных и глубоких трещин вспарывания длиной более 300 м, среднее расстояние между бортами трещин – около 3 м. В 5 км от зоны трещиноватости в этой же долине находится протяженный участок, в пределах которого не обнаружено разрывных нарушений, видимых на поверхности. Пункты зондирований были размещены в двух различных областях проявления последствий землетрясения.

За несколько лет наблюдений над главным разломом Чуйского землетрясения была оценена электрическая анизотропия разреза. Оценка проводилась на основе решения обратной задачи для крестовых и круговых ВЭЗ в зонах развития трещин и в зоне их отсутствия [4]. Рассмотрение вариаций геоэлектрических параметров разреза свидетельствует о том, что происходит процесс консолидации геологического массива. Залечивание тектонических трещин наблюдается на дневной поверхности, в ряде шурфов трещиноватого участка полости заполняются мелкообломочным и илистым материалом. Можно отметить, что максимальные изменения коэффициента анизотропии произошли в течение первых трех лет наблюдений, а затем его значения изменяются в пределах 10–15%, что отражает влияние происходящих геодинамических и гидрогеологических процессов, связанных с афтершоковыми воздействиями на среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Девяткин Е.В.* Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. – М.: Наука, 1965. – 244 с.
2. *Деев Е.В., Неведрова Н.Н., Зольников И.Д., Русанов Г.Г., Пономарев П.В.* Геоэлектрические исследования отложений Чуйской котловины (Горный Алтай) // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 1. – С. 120–139.
3. *Неведрова Н.Н., Деев Е.В., Пономарев П.В.* Выявление разломных структур и их геоэлектрических характеристик по данным метода сопротивлений в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 2003 г. (Горный Алтай) // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 1. – С. 146–156.
4. *Пакет программ Zond* // ZOND [сайт]. – URL: <http://www.zond-geo.ru>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ ДАГЕСТАНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 14 МАЯ 1970 Г.

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

14 мая 1970 г. на Восточном Кавказе в Республике Дагестан произошло землетрясение с магнитудой $M=6.6$, максимальная интенсивность сотрясений при котором на ограниченной площади составила 9 баллов по шкале MSK-64 [1]. 8-балльными сотрясениями землетрясение проявилось на площади более 900 км^2 . Координаты очага – $\varphi=43.0^\circ\text{N}$, $\lambda=47.1^\circ$, $h=18 \text{ км}$. Эпицентральная область отличалась наличием крупных сейсмодислокаций – гигантскими трещинами земной поверхности, срывами огромных каменных и глиняных масс, обвалами и оползнями. Были разрушены до основания и очень сильно повреждены несколько селений. В городах Буйнакс, Махачкала, Хасавюрт, Кизилюрт наблюдались многочисленные серьезные повреждения капитальных строений. К сожалению, были и человеческие жертвы – погибли 33 человека. Пришлось вносить некоторые проектные изменения в ход строительства Чиркейской ГЭС, расположенной в 8-балльной зоне [2].

К 1970 г. на Восточном Кавказе работало несколько опорных сейсмических станций ЕССН СССР, в том числе сейсмическая станция «Махачкала», расстояние от которой до эпицентра Дагестанского землетрясения составило по прямой 36 км. Это позволило записать подавляющее число форшоков и афтершоков сильнейшего толчка. Оригинальные сейсмограммы, журналы обработки сейсмограмм и уникальные фотоматериалы, запечатлевшие повреждения земной поверхности и разрушения в населенных пунктах, хранятся в архиве сейсмической станции «Махачкала» ФИЦ ЕГС РАН. Дагестанское землетрясение запустило процесс разрядки напряжений и самоорганизации среды разломной зоны северного участка Дагестанского клина Пшекиш-Тырныаузского разлома на многие десятилетия, что выражено в особенностях сейсмического режима данной территории.

Афтершоковая деятельность Дагестанского землетрясения продолжалась более двух лет, и в настоящее время, по прошествии 50 лет, очаговая область активна. В год здесь регистрируется не менее 50 и до 100 с лишним мелких сейсмических событий, магнитуда которых не превышает фоновых значений. После заполнения водохранилища Чиркейской ГЭС в непосредственной близости от очага Дагестанского землетрясения фиксировались 6–7-балльные события, которые с уверенностью можно назвать индуцированными. 31 января 1999 г. произошло Кизилюртское землетрясение с $M=5.7$ с координатами $\varphi=42.80^\circ\text{N}$, $\lambda=46.8^\circ\text{E}$, $h=15 \text{ км}$, которое также рассматривается как индуцированное, но в подготовленной тектонической обстановке.

Сеймотектоническая позиция и разломная тектоника очага Дагестанского землетрясения 1970 г. описана в многочисленных источниках. Ранее авторами исследовалась фоновая сейсмичность области, окружающей его эпицентр. Установлено, что подавляющее большинство очагов слабых землетрясений находится в сильно раздробленном слое осадочной толщи на глубинах не более 8–9 км, что отражено в численном значении коэффициента угла наклона графика повторяемости $b=0.866\pm 0.06$. Это значение мало меняется в последние годы.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
2. *Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г.* – М.: Наука, 1980. – С. 3.

ЗАТУХАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ВОЛН В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ

^{1,2}П.А. Предеин, ^{3,2}А.А. Добрынина, к.ф.-м.н.,

^{1,2}Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н.

¹БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ

²ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

³ИЗК СО РАН, г. Иркутск

За период инструментальных сейсмических наблюдений Бурятским и Байкальским филиалами ФИЦ ЕГС РАН накоплен большой объем волновых форм землетрясений, произошедших в центральной части Байкальского рифта. Эти сейсмограммы содержат, помимо амплитуд первых вступлений и скоростей сейсмических волн, информацию о затухании сейсмической энергии при прохождении в среде. Знание параметров распространения сейсмических волн важно как для исследования пространственной неоднородности сейсмогенной среды, так и для прикладных задач региональной оценки сейсмического воздействия.

Известно, что оценки затухания сейсмических волн для одного и того же региона могут варьировать в зависимости от многих факторов: используемых для анализа землетрясений (разные эпицентральные расстояния, энергия и механизм очага), от типа преобладающих на записях сейсмических волн (объемные или поверхностные). Кроме того, на получаемые разными методами оценки затухания влияют такие параметры расчета, как длительность анализируемого участка сейсмограммы, используемый частотный диапазон и другие [1].

В настоящей работе для оценки затухания сейсмических волн в центральной части Байкальского рифта использовался комплекс методов, основанных на анализе кода-волн – рассеянных на случайных неоднородностях среды объемных волн. Выполнялась оценка затухания по коде [1], использовался метод нормализации прямых поперечных волн к коду [2] и метод инверсии огибающей коды [3] для разделения величины общего затухания на компоненты: поглощения и рассеяния на неоднородностях среды.

Используя записи землетрясений с M_w от 2.5 до 5.5, зарегистрированных 12 станциями в районе центральной части Байкальской рифта, и одинаковые параметры расчета для разных методов (величина геометрического расхождения, длины окон для прямых и кода-волн), получены хорошо согласующиеся между собой значения как для величины общего затухания, так и для отдельных его компонент.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Havskov J., Sørensen M.B., Vales D., Özyazıcioglu M., Sánchez G., Li B.* Coda Q in different tectonic areas, influence of processing parameters // *Bulletin of the Seismological Society of America.* – 2016. – V. 106, N 3. – P. 956–970.
2. *Predein P.A., Dobrynina A.A., Tubanov T.A., German E.I.* CodaNorm: A software package for the body-wave attenuation calculation by the coda-normalization method // *SoftwareX.* – 2017. – V. 6. – P. 30–35.
3. *Eulenfeld T., Wegler U.* Measurement of intrinsic and scattering attenuation of shear waves in two sedimentary basins and comparison to crystalline sites in Germany // *Geophysical Journal International.* – 2016. – V. 205, N 2. – P. 744–757.

К МОНИТОРИНГУ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМА

Б.Г. Пустовитенко, д.ф.-м.н., В.Е. Кульчицкий, к.ф.-м.н.
ГАОУ «КРЦ», г. Симферополь

Сеть сейсмических станций Крыма, расположенная в основном в его южной и юго-восточной части, не обеспечивает надежную регистрацию слабых толчков в наиболее удаленном северо-западном районе Крыма. Вместе с тем, в этом районе в последние годы заметно активизировались сейсмические процессы, слабые толчки неоднократно ощущались населением на Тарханкутском полуострове (по данным МЧС). Предположительно такая активизация может иметь не только естественную сейсмотектоническую, но и техногенную природу, связанную с добычей и закачкой углеводородного сырья в крупное Глебовское подземное хранилище газа (ПХГ).

Часть очагов землетрясений северо-западного района приурочена к зоне сочленения Скифской плиты и Украинского щита, а также к раннекиммерийским разломам: Северотарханкутскому, Донузлавскому и Сулинско-Крымскому [1]. Особо выделяется концентрация эпицентров землетрясений в районе Глебовского ПХГ, которая может быть связана как с естественными процессами в зонах ближайших разрывных нарушений, так и с наведенной сейсмичностью.

Для мониторинга сейсмичности этого района начата организация локальной сейсмической сети. К настоящему времени с 2018 г. уже работают в непрерывном режиме две высокочувствительные сейсмические станции «Тарханкут» (TARU) и «Донузлав-2» (DNZ2), которые показали высокую эффективность работы: 100% по отношению к представительным землетрясениям для всего региона с $K_{п} \geq 9$ и 60% – для $K_{п} \geq 8$ [2]. Без пропуска регистрируются слабые толчки с $K_{п} \geq 6$ в радиусе до 120 км, охватывая не только Тарханкутский полуостров, но и западную часть шельфа Чёрного моря. За этот период станциями TARU и DNZ2 в районе Глебовского ПХГ зарегистрировано несколько слабых локальных землетрясений с $K_{п} = 4.4-5.5$, недоступных для регистрации другими удаленными региональными сейсмостанциями Крыма. Повысилась точность локации гипоцентров землетрясений не только Северо-Западного, но и Севастопольского района.

Первые результаты регистрации слабых землетрясений на северо-западной территории Крыма новыми сейсмическими станциями вселяют надежду, что планируемое расширение сети наблюдений откроет неизвестные ранее особенности пространственно-временных свойств сейсмичности этого района и позволит уточнить сейсмическую опасность территории, на которой расположены особо ответственные экологически опасные объекты, а также следить за динамикой ее развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Державна геологічна карта України*. Масштаб 1: 200 000. Кримська Серія. Аркуші L-36-XXI (Чорноморське), L-36-XXII (Красноперекопськ), L-36-XXVII (Морське). Пояснювальна записка. – Киев: Державний комітет природних ресурсів України, Казенне підприємство «Південкогеоцентр», 2004. – 99 с.
2. *Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Сухорученко С.К., Клянчин А.И.* Организация и первые результаты сейсмических наблюдений в северо-западной части территории Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. – 2020. – Т. 6 (72), № 4. – С. 141–165.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРАМ

Б.Г. Пустовитенко, д.ф.-м.н., Э.Э. Эреджепов
ГАОУ «КРЦ», г. Симферополь

Спектральный состав сейсмических колебаний землетрясений Крыма, несущих на себе максимальную сейсмическую энергию, изучен по энергетическим спектрам объемных волн (на примере записей сейсмической станции «Алушта»). Методика и алгоритм расчета энергетических спектров, их обработка описаны в [1, 2].

В качестве экспериментальной основы использовано 149 цифровых записей на станции «Алушта» от 55 местных землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_{II}=5.2-13.1$ за период 2014–2020 гг. Землетрясения разбиты на шесть групп очагов с близкими эпицентрными расстояниями Δ : 1 – 6 ± 2 км; 2 – 23 ± 3 км; 3 – 46 ± 3 км; 4 – 85 ± 15 км; 5 – 167 ± 13 км; 6 – 243 ± 22 км.

Для всех энергетических спектров получена резонансная форма с максимумом плотности энергии q_{max} в ограниченной области частот $\delta f q$, как для других землетрясений Крыма аналогового периода наблюдений [2]. При этом с ростом K_{II} уровень спектральной плотности q_{max} при $f q_{max}$ увеличивается во всем диапазоне эпицентральных расстояний, а значение $f q_{max}$ уменьшается с ростом величины q_{max} .

Ранее [2] корреляционная зависимость частоты $f q_{max}$ от K_{II} землетрясений была установлена для группы афтершоков 1984 г. ($\Delta=21\pm 1$ км) для поперечных S -волн на станции «Алушта»:

$$\lg T q_{max} = \lg 1/f q_{max} = (0.023 \pm 0.007) \cdot K_{II} - (0.79 \pm 0.015), \rho = 0.8. \quad (1)$$

Полученные средние значения $f q_{max}$ для 2-ой группы очагов с близкими эпицентрными расстояниями $\Delta=(23\pm 3)$ км и вычисленные по формуле (1), оказались близкими между собой (в пределах погрешностей определяемых величин).

Известно, что спектральный состав колебаний сейсмических волн существенно меняется с расстоянием вследствие поглощения и рассеяния высоких частот в неоднородной среде. Это отразилось на характеристиках рассмотренных энергетических спектров для шести групп очагов, расположенных на разных эпицентральных расстояниях.

Надежная прямая корреляционная связь уменьшения значений $f q_{max}$ с ростом расстояний Δ получена для энергетических спектров P -волн (2) и S -волн (3):

$$\lg f q_{max} = (0.875 \pm 0.012) - (0.085 \pm 0.006) \cdot \lg \Delta, \rho = 0.99, \quad (2)$$

$$\lg f q_{max} = (0.701 \pm 0.01) - (0.108 \pm 0.06) \cdot \lg \Delta, \rho = 0.99. \quad (3)$$

Подобная тенденция отмечена и для ширины спектра $\delta f q$. Исследования будут продолжены с целью получения статистических данных, достаточных для расчета региональных систем энергетических спектров и прогноза спектральных параметров сейсмических воздействий с позиции спектрально-временной сотрясаемости [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ризниченко Ю.В., Сейдузова С.С. Спектрально-временная характеристика сейсмической опасности. – М: Наука, 1984. – 180 с.
2. Пустовитенко Б.Г., Пантелева Т.А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. – Киев: Наукова думка, 1990. – 249 с.

СОВРЕМЕННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ СЕРИИ «БАЙКАЛ»

А.Ю. Рыбушкин, Д.О. Терешкин
ООО «ЭКСПАС», г. Новосибирск

Геофизические исследования, сейсмический мониторинг, сейсморазведка, неразрушающий контроль инфраструктуры и сооружений – вот неполный и активно расширяющийся перечень задач, для успешного выполнения которых необходимо применение точных и надежных приборов измерения, регистрации и обработки сейсмологических данных.

Применение таких приборов и программного обеспечения, созданных в России, позволяет повысить импортнезависимость всей отрасли. Регистраторы сейсмических сигналов «Байкал» разработаны и производятся в Новосибирске. Это современные приборы с высочайшими метрологическими характеристиками.

В докладе приводятся основные характеристики стационарных регистраторов «Байкал-8» [1] и мобильных автономных регистраторов «Байкал-А» [2]. Особо отмечены разнообразные возможности синхронизации регистраторов «Байкал-8» при применении в многоканальных распределенных системах сбора сейсмических данных, включая объекты, в которых невозможно подключение к каждому прибору антенны спутниковой навигации [3, 4]. Эти приборы обладают поддержкой промышленных стандартов построения сетей сейсмических наблюдений, что обеспечивает широкие возможности для их интеграции в существующие и вновь проектируемые системы.

Автономные регистраторы «Байкал-А» оптимизированы для быстро развертываемых полевых измерений и сейсмического исследования инженерных объектов. Сверхнизкое потребление позволяет проводить непрерывную запись сигналов около десяти дней при использовании одного гальванического элемента типа Д. Небольшой размер и прочный герметичный корпус позволяют эффективно проводить работы в самых сложных условиях. При этом характеристики измерительного тракта отвечают самым современным требованиям для такой аппаратуры.

Активное взаимодействие и эффективная обратная связь со специалистами, использующими регистраторы «Байкал» при проведении работ, позволяют разработчикам оперативно модернизировать и совершенствовать программные и аппаратные возможности приборов и проводить необходимое обслуживание и ремонт.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Техническое описание регистратора сейсмических сигналов «Байкал-8»* [Электронный ресурс]. – URL: <http://expas-sib.com/software/baykal-8/baykal-8-manual.pdf>
2. *Техническое описание регистратора сейсмических сигналов «Байкал-А»* [Электронный ресурс]. – URL: <http://expas-sib.com/software/baykal-a/baykal-a-manual.pdf>
3. *Zhmud V.A., Tereshkin D.O., Semibalamut V.M., Dimitrov L.V., Roth H.* Measurer and recorder of electrical signals for electrical geophysical surveys // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2019. – V. 1333 (6). – 062031.
4. *Жмудь В.А., Терешкин Д.О.* Алгоритмы и программные средства zipdataflownstu и defprocnstu для сжатия потока данных без потерь и предварительной обработки данных // *Автоматика и программная инженерия.* – 2012. – № 2 (2). – С. 72–78.

О ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ РАЙОНА ВОДОХРАНИЛИЩА ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС (ДАГЕСТАН)

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

Землетрясения, связанные с заполнением крупных водохранилищ, отличаются от тектонических землетрясений по режиму выделения сейсмической энергии, распределению во времени форшоков и афтершоков, по соотношению повторяемость–магнитуда [1]. В [2] отмечается изменение механизмов очагов слабых землетрясений при интенсивном заполнении водохранилища Нурекской ГЭС, в частности, изменение осей сжатия в очагах, расположенных к юго-западу и северо-востоку от глубоководной части водохранилища, что вызывается упругим прогибанием дна водохранилища.

Нами расчетным путем оценены величины деформаций прогибания горных пород у основания водохранилища Чиркейской ГЭС (объем $3 \times 10^9 \text{ м}^3$) [3]. Максимальное значение прогибания (8 см) отмечается под ложем водохранилища на глубине 1 км. Погружение поверхности охватило площадь не менее 1000 км^2 , что превышает площадь зеркала водохранилища примерно в 40 раз и охватывает зону расположения водохранилища Ирганайской ГЭС.

Как известно, заполнение водохранилища Чиркейской ГЭС, особенно его первый этап (август–декабрь 1974 г.), вызвало усиление сейсмической активности прилегающей территории [4]. Такие значимые сейсмические события, как Верхнекаранайский рой землетрясений 9–11 энергетического класса в октябре 1974 г., Салатаусское землетрясение 23 декабря 1974 г. с $K_r=13$, приурочены к зонам, где отмечаются максимальные скорости изменения градиента деформаций прогибания [2].

Заполнение крупного водохранилища в сейсмически активном регионе, каковым является область Дагестанского клина, где и расположено водохранилище Чиркейской ГЭС, показало, что возникающие в результате заполнения водохранилища деформации прогибания являются одной из причин возникновения землетрясений техногенной природы и дополнительным фактором, способствующим развитию сейсмического процесса.

В связи с тем, что район расположения Ирганайского водохранилища попадает в зону деформаций прогибания Чиркейского водохранилища, представляет интерес, как дополнительная нагрузка веса воды водохранилища Ирганайской ГЭС повлияла на сейсмический режим указанной территории.

Следует отметить, что в результате длительной эксплуатации водохранилища Чиркейской ГЭС (более 45 лет) изменились реологические свойства геологической среды и, соответственно, сейсмический режим прилегающей к водохранилищу территории, что отразилось на величине угла наклона графика повторяемости.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. – М.: Мир, 1979. – 251 с.
2. Соболева О.В. Изменение механизмов очагов слабых землетрясений под влиянием Нурекского водохранилища // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1980. – № 1. – С. 34–42.
3. Саидов О.А. Деформации прогибания и возбужденные землетрясения // Известия АН СССР. Советская геология. – 1984. – № 1. – С. 120–125.
4. Левкович Р.А., Дейнега Г.И., Каспаров С.А. и др. Геодинамический эффект создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях. – М.: Наука, 1982. – 76 с.

РАСЧЕТ ОЧАГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАЙКАЛА

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

Район Центрального Байкала ($\varphi=51.7-53.7^\circ\text{N}$ и $\lambda=106.1-109.1^\circ\text{E}$) является одной из сейсмоактивных областей Байкальской рифтовой зоны. Для него характерны высокая плотность слабой сейсмичности с энергетическим классом $K_p < 8$, наличие очагов сильных и катастрофических землетрясений [1]. Развитие Селенгинской локальной сети (BUGSR) [2] позволило исследовать характеристики затухания сейсмических волн [3] и увеличить представительность (в сторону меньших энергий) определений очаговых параметров землетрясений (сейсмического момента M_0 , моментной магнитуды M_w и др.).

Очаговые параметры были определены для землетрясений из трех выборок:

– выборка 1 – относительно сильные землетрясения 2001–2014 гг. с $K_p=10.5-13.1$, зарегистрированные 4–15 станциями. Выборка использовалась для отладки программ обработки как содержащая наиболее качественные записи;

– выборка 2 – землетрясения 2001–2012 гг., относящиеся к выделенным нами группам событий [4] всего регистрируемого диапазона энергетических классов ($K_p=4.5-12.3$) и зарегистрированные 3–15 станциями;

– выборка 3 – землетрясения 2001–2014 гг., для которых были определены гипоцентры, зарегистрированные минимум пятью станциями с минимальным расстоянием до ближайшей станции 35 км.

Выборки 2 и 3 использовались для изучения связи между M_w и K_p и определения очаговых спектров землетрясений в автоматическом режиме.

Проведен расчет и анализ спектров скоростей и смещений прямых P - и S -волн. При расчете спектров автоматически вносились поправки на геометрическое расхождение и неупругое затухание волн в среде. Для определения параметров очаговых спектров (угловые частоты f_c и M_0) по известной методике с использованием модели Бруна применялись диалоговый и автоматический режимы работы, выполненные с помощью программ, реализованных в Matlab. Апробирована методика инверсии параметров источника.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Radziminovich N.A., Gileva N.A., Melnikova V.I., Ochkovskaya M.G.* Seismicity of the Baikal rift system from regional network observations // Journal of Asian Earth Sciences. – 2013. – V. 62. – P. 146–161.
2. *Масальский О.К., Гилёва Н.А., Хамидулина О.А., Тубанов Ц.А.* Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 41–47.
3. *Добрынина А.А., Предеин П.А., Саньков В.А., Тубанов Ц.А., Санжиева Д.Д., Горбунова Е.А.* Пространственные вариации затухания сейсмических волн в Южнобайкальской впадине и прилегающих областях (Байкальский рифт) // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 147–166.
4. *Санжиева Д.П.-Д., Тубанов Ц.А.* Анализ группирования землетрясений Центрального Байкала // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: материалы V Всероссийской молодежной научной конференции. – Улан-Удэ: ГИН СО РАН, 2019. – С. 76–77.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 13 ФЕВРАЛЯ 2020 Г. С $M=6.9$ И ПОЛЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ГЛУБИН

^{1,2}Д.А. Сафонов, к.ф.-м.н.

¹ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

²СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск

Землетрясение произошло 13 февраля 2020 г. в $10^{\text{h}}33^{\text{m}}$, эпицентр находился между островами Итуруп и Уруп в южной части Курильской гряды, магнитуда $M_w=6.9$, глубина очага – 150 км. Событие ощущалось во всех населенных пунктах Южно-Курильского и Курильского районов с интенсивностью 5–6 баллов. Механизм очага, определенный методом инверсии волновых форм, классифицируется как взрез (вертикальный сдвиг), субвертикальная нодальная плоскость простирается вдоль островной дуги, вторая плоскость полого падает на юго-запад, что создает небольшую сдвиговую компоненту подвижки.

Очаг относится к Курило-Камчатской сейсмофокальной области, зоне промежуточных глубин, расположенной между зоной контакта Тихоокеанской и Охотоморской литосферных плит ($h\sim 50$ км) и областью сейсмической брешы ($h>200$ км). Здесь наблюдается расслоение сейсмогенерирующей области внутри погружающейся плиты (слэба) на верхний и нижний слои, разделенные небольшим асейсмичным промежутком, согласно существующим представлениям [1], находящиеся соответственно в условиях сжатия и растяжения вдоль слэба, вызванных обратным изгибом плиты.

В работе, с использованием метода катакластического анализа Ю.Л. Ребецкого [2], было реконструировано поле тектонических напряжений в зоне промежуточных глубин на участке от южной части острова Хоккайдо до острова Итуруп Курильской гряды отдельно вдоль верхнего и нижнего слоев сейсмофокальной зоны. Используются данные NIED [3]. Установлено, что в нижнем слое, к которому относится очаг землетрясения 13 февраля 2020 г., условия растяжения вдоль направления падения слэба действительно соблюдаются на протяжении исследованной области. Распределение напряжений в верхнем слое более сложное. В верхней части наследуются тектонические условия зоны контакта литосферных плит. На больших глубинах под территорией острова Хоккайдо преобладают условия растяжения и вертикального сдвига, под территорией Курильских островов устанавливаются условия сжатия примерно вдоль направления движения плиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Astiz L., Lay T., Kanamori H.* Large intermediate-depth earthquakes and the subduction process // *Physics of the Earth and Planetary Interiors.* – 1988. – V. 53, N 1–2. – P. 80–166.
2. *Ребецкий Ю.Л.* Методы реконструкции тектонических напряжений и сеймотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // *Доклады РАН.* – 1999. – Т. 365, № 3. – С. 392–395.
3. *NIED* – National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. Japan [Site]. – URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp>

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ФОНА

^{1,2}И.Н. Сафронич

¹ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

В исследовании [1] был представлен авторский способ обработки трехкомпонентных записей микросейсмического шума, который на основе свойств фоновое микросейсмического поля для выбранного интервала записи, используя последовательно ранговую фильтрацию и сглаживание статистически значимого количества амплитудно-частотных спектров, рассчитывает модель микросейсмического фона в трехкомпонентном представлении (Z, NS, EW). В [2] была показана принципиальная возможность ее использования для выделения однотипных пород докембрийского фундамента платформенной территории. Однако трехкомпонентное представление не обеспечивает достаточной стабильности получаемых моделей, рассчитанных на интервалах менее суток (например, на трехчасовых интервалах), и сильно зависит от уровня техногенной нагрузки в пункте наблюдения. Поэтому целью данной работы является разработка взаимно однозначного преобразования трехкомпонентной модели микросейсмического фона, которое позволит разделить его на составляющие, характеризующие как геологическое строение в пункте наблюдения, так и изменения амплитудно-частотного состава фоновое микросейсмического поля.

Для решения задачи использовано свойство фоновое микросейсмического поля, обнаруженное Накамуры, которое отражает почти функциональную связь между его составляющими [3]. Спектр Накамуры является передаточной характеристикой среды, которая связывает вертикальную составляющую микросейсмического фона (аналог «входного сигнала») с горизонтальными составляющими («выходной сигнал»). Дополним его взаимосвязью горизонтальных составляющих и, используя следующее взаимно однозначное преобразование, получим «геофизическое» представление модели микросейсмического фона (Z, TF, AN):

$$\begin{aligned} Z &= Z & Z &= Z, \\ TF &= (NS + EW) / (2 \cdot Z) & \Leftrightarrow & NS = 2 \cdot TF \cdot Z \cdot AN / (1 + AN), \\ AN &= NS / EW & & EW = 2 \cdot TF \cdot Z / (1 + AN). \end{aligned}$$

Сравнение моделей микросейсмического фона в геофизическом представлении для одних и тех же пунктов наблюдения на территории Воронежского кристаллического массива для разного времени суток, дня недели и месяца показало, что составляющие геофизического представления TF (Transfer Function) и AN (Anisotropy) более стабильны, чем составляющие NS и EW .

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафронич И.Н. Метод расчета модели микросейсмического фона // Развитие систем сейсмологического и геофизического мониторинга природных и техногенных процессов на территории Северной Евразии. Материалы Международной конференции / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 65.
2. Сафронич И.Н. Использование спектра Накамуры для исследования интрузии в кровле докембрийского фундамента Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 88.
3. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. – 1989. – V. 30, N 1. – P. 25–33.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ФОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ КОРРЕКТНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

^{1,2}И.Н. Сафронич

¹ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

Качество результатов сейсмологического мониторинга напрямую зависит от полноты и качества первичного материала, получение которого обеспечивается в первую очередь корректной (правильной) работой оборудования как на отдельно взятой станции, так и идентичной, синхронной работой сейсмических станций всей локальной сети. Для поддержания корректной работы оборудования в соответствии с [1] один раз в год производится сверка оборудования всех сейсмических станций сети. В период между сверками необходимо контролировать и своевременно обнаруживать некорректную работу оборудования. Поэтому важной задачей является оценка его работы по получаемым в режиме, близком к реальному времени, трехкомпонентным записям.

В условиях платформенной территории решение данной задачи существенно осложняется размещением пунктов наблюдения в местах с различным уровнем антропогенной нагрузки. Это негативно сказывается на стабильности даже осредненных трехкомпонентных амплитудно-частотных спектров и не позволяет однозначно определить наличие технических проблем, влияющих на изменение АЧХ сейсмических каналов. Например, применительно к СМ-ЗКВ это может быть изменение коэффициента затухания, связанное как с механическим воздействием на маятник, так и с изменением сопротивления в цепи катушки затухания, что приводит к непропорциональным изменениям АЧХ канала. В этих случаях изменение АЧХ происходит постепенно, что на начальном этапе затрудняет диагностику.

Использование моделей микросейсмического фона в геофизическом представлении [2] позволяет решить данную задачу. Если уровень микросейсмического фона превышает уровень собственного шума каналов, то составляющие TF и AN модели микросейсмического фона характеризуют геологическое строение пункта наблюдения, которое в условиях платформенной территории достаточно стабильно. То есть передаточная характеристика среды (TF), а также ее анизотропия (AN), рассчитанные на суточном интервале, достаточно стабильны, и их различия не превосходят 10% в рабочей полосе частот короткопериодного сейсмоприемника СМ-ЗКВ. Это позволяет, получив осредненный образец суточной модели микросейсмического фона в геофизическом представлении, сравнивать с ним модель за текущие сутки. В связи с тем, что синхронное изменение АЧХ всех каналов является маловероятным событием, в случае наличия технической проблемы в соответствующем диапазоне частот составляющие TF и AN будут отличаться более чем на 10%. Тогда, используя несложные преобразования, можно определить, в каком из каналов произошли данные изменения, что позволит их учесть, а также своевременно предотвратить окончательный выход оборудования из строя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР*. – М.: Наука, 1981. – 272 с.
2. *Сафронич И.Н.* Геофизическое представление модели микросейсмического фона // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 80.

ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ В ЗОНЕ ВЛАДИКАВКАЗСКОГО ГЛУБИННОГО РАЗЛОМА ПО ДАННЫМ СОФ ФИЦ ЕГС РАН

¹А.А. Саяпина, ¹С.С. Багаева,
¹И.Ю. Дмитриева, ²С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.
¹СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Владикавказский глубинный разлом пересекает южную часть Северной Осетии–Алании и простирается в широтном направлении от селения Карман-Синдикау до восточной границы республики. Рассматриваемый разлом, состоящий из трех ветвей, выделяется по геофизическим данным и в региональном плане образует дизъюнктивную границу Северной моноклинали Большого Кавказа с Осетинской впадиной Терско-Каспийского краевого прогиба [1].

В настоящей работе были исследованы проявления сейсмической активности зоны Владикавказского глубинного разлома по историческим и современным данным Северо-Осетинского филиала ФИЦ ЕГС РАН.

Область исследования была ограничена координатами $42.97 \leq \varphi \leq 43.05^\circ \text{N}$ и $44.18 \leq \lambda \leq 44.89^\circ \text{E}$. О высоком сейсмическом потенциале ($M_{\max}=6.5-7.1$) разломной зоны свидетельствуют макросейсмические данные о сильных землетрясениях исторического прошлого и сведения о палеоземлетрясениях. Среди ощутимых землетрясений известно одно 5-балльное землетрясение с $M=4.7$, произошедшее в 1881 г. ($\varphi=42.9^\circ \text{N}$; $\lambda=44.8^\circ \text{E}$), и Северо-Осетинское 8-балльное землетрясение 1923 г. с $M=4.8$ ($\varphi=43.0^\circ \text{E}$, $\lambda=44.2^\circ \text{E}$) [2].

Всего за период 2004–2019 гг. в зоне Владикавказского разлома локализовано 396 землетрясений с $K_R=4.6-10.5$, из них 231 землетрясение – на глубинах до 10 км, 136 – до 20 км и 29 – до 45 км. Наиболее сильные и ощутимые землетрясения произошли: 11 мая 2008 г. вблизи селения Хаталдон с максимальной интенсивностью в эпицентре 4 балла, 16 февраля 2016 г. в селе Кора-Урсдон и 8 декабря 2018 г. в 3 км к западу от селения Цаликово с максимальной интенсивностью в эпицентрах 2 балла, 15 февраля 2019 г. на окраине селения Майрамадаг с максимальной интенсивностью 2 балла. Также в пределах Владикавказского разлома в 2004, 2007, 2011, 2018 и 2019 гг. регистрировались малочисленные рои землетрясений [3].

Анализ сейсмической активности показал неравномерное распределение землетрясений вдоль Владикавказского глубинного разлома. Наибольшая концентрация гипоцентров локализуется в его западной части вдоль северной и средней ветвей как по историческим, так и по современным данным.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатилов А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.
2. Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Панапашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). П б. Кавказ [50–1974 гг., $M \geq 4.0$, $I_0 \geq 5$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
3. Саяпина А.А., Дмитриева И.Ю., Багаева С.С., Гричуха К.В. Рой землетрясений в 2019 г. в районе села Майрамадаг Республики Северная Осетия–Алания // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XIV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 89.

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В 2020 Г. ПО ДАННЫМ СОФ ФИЦ ЕГС РАН

¹А.А. Саяпина, ¹С.С. Багаева,
¹И.Ю. Дмитриева, ²С.В. Горожанцев, к.г.-м.н.
¹СОФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Владикавказ
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Основная нагрузка при осуществлении непрерывного сейсмологического мониторинга центральной части Северо-Кавказского региона лежит на Северо-Осетинском филиале (СОФ) ФИЦ ЕГС РАН. Сеть сейсмологических наблюдений филиала включает 12 цифровых сейсмических станций. При необходимости для уточнения параметров гипоцентров землетрясений в обработке дополнительно привлекаются данные 11 станций, установленных на территории Чеченской Республики, Кабардино-Балкарии, Дагестана и Карачаево-Черкесии [1].

Целью работы является представление результатов анализа сейсмологических наблюдений за 2020 г. в пределах границ ответственности ($\varphi=42.00-44.50^\circ\text{N}$, $\lambda=42.00-46.50^\circ\text{E}$) Северо-Осетинского филиала.

Всего за рассматриваемый период зарегистрировано 968 сейсмических событий с $K_p=3.9-12.4$. Суммарная выделившаяся сейсмическая энергия увеличилась в 4 раза по сравнению с 2019 г. и составила $\sum E=2.697 \cdot 10^{12}$ Дж. Энергетические максимумы приходятся на декабрь, май, январь месяцы и обусловлены более сильными ощутимыми землетрясениями в эти периоды. Большинство гипоцентров зарегистрированных землетрясений залегают на глубинах $h \leq 20$ км. Пространственное распределение очагов землетрясений с глубиной залегания гипоцентров $70 \leq h \leq 120$ км, относящихся к Грозненской сейсмоактивной зоне, такое же, как и в прошлые годы [2].

Проведен анализ распределения очагов землетрясений с привязкой к геотектоническим структурам, построена карта эпицентров зарегистрированных сейсмических событий на фоне очаговых зон. Выявлены и описаны роевые последовательности сейсмических событий, проявившихся на территории Республики Северная Осетия–Алания, Кабардино-Балкарской Республики, а также в Ставропольском крае. По трем ощутимым землетрясениям (26.01.2020 г., $K_p=11.2$; 24.05.2020 г., $K_p=10.7$; 12.12.2020 г., $K_p=12.4$) проведены макросейсмические обследования, включающие выезд в места их проявления и обработку сведений, поступивших от населения на сайт СОФ ФИЦ ЕГС РАН, также для них определены механизмы очагов и построены стереограммы.

Полученные результаты направлены на более эффективное изучение изменений сейсмического режима рассматриваемой территории.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Саяпина А.А., Багаева С.С., Дмитриева И.Ю., Калякин А.И., Горожанцев С.В., Дягилев Р.А. К вопросу организации сейсмологических наблюдений на территории Северной Осетии // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: сборник научных трудов / Гл. ред. В.И. Костицын. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. – С. 237–244.
2. Багаева С.С., Саяпина А.А., Дмитриева И.Ю., Гричуха К.В., Горожанцев С.В. О распределении гипоцентров землетрясений в очаговых зонах центральной части Северного Кавказа в 2018 году // Вестник Пермского университета. Геология. – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 231–236.

СПУТНИКОВАЯ ГЕОДЕЗИЯ В ЗАДАЧАХ СЕЙСМОЛОГИИ

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

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

²ИФЗ РАН, г. Москва

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) за более чем 20-летний период своего развития привели к существенным изменениям в подходах к изучению различных геодинамических процессов и вывели на новый качественный уровень геодезию в применении к разнообразным задачам геофизики. Принципиальные факторы, обусловившие формирование такого нового направления, как космическая геодинамика, состоят в возможности высокоточных определений взаимного положения и смещения элементов земной поверхности без ограничения по расстояниям, характерного для классических линейно-угловых наземных измерений. Кроме того, наземный измерительный сегмент систем ГНСС отличается компактностью и сравнительной легкостью установки, что обусловило развертывание обширных наземных наблюдательных сетей в глобальном масштабе со сгущениями в регионах высокой сейсмической активности.

С 1997 г. в рамках программы геодинамических исследований Геофизической службой РАН при сотрудничестве с международными научными организациями была создана высокоточная референсная континентальная сеть постоянных станций ГНСС на территории Северной Евразии – деформационная сеть Северной Евразии (North Eurasia Deformation Array: NEDA). Кроме того, в сейсмически активных регионах России созданы региональные геодинамические полигоны, в частности, на Камчатке и Курильских островах.

Геодинамические процессы, как быстрые, так и медленные, независимо от их масштабов, которые проявляются в виде деформаций земной поверхности на уровне сантиметров, могут исследоваться с помощью методов космической геодезии. Во время землетрясений происходят одномоментные подвижки, достигающие метров вблизи очага сильного землетрясения, а на расстояниях в сотни километров от очага фиксируются подвижки, достигающие сантиметров. Это позволяет выполнять оценку распределенной подвижки в очаге сейсмического события и выделенную сейсмическую энергию.

Кроме того, методы космической геодезии позволяют исследовать медленные геодинамические процессы, сопровождающие сильные землетрясения, такие как межсейсмические процессы накопления напряжений, процессы подготовки землетрясений, постсейсмические переходные процессы.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Steblov G.M., Sdelnikova I.A.* Seismology and satellite geodesy: multisystem approach to the earthquake monitoring // Исследования по геоинформатике: Труды Геофизического центра РАН. – М.: ГЦ РАН, 2016. – Т. 4, № 2. – С. 111.
2. *Сдельникова И.А., Стеблов Г.М.* Мониторинг цунамигенных землетрясений методами спутниковой геодезии // Геофизические исследования. – 2016. – Т. 17, № 1. – С. 46–55.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ СИЛЬНЕЙШИХ СУБДУКЦИОННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ

**И.А. Сдельникова, к.ф.-м.н.
ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск**

В зонах субдукции возникают самые сильные, самые глубокие и самые опасные землетрясения, которые могут приводить к возникновению катастрофических цунами. Высокая сейсмическая активность зон субдукции обусловлена происходящими здесь активными геодинамическими процессами, а именно погружением одной тектонической плиты под другую. Деформации земной поверхности, вызванные глубинными тектоническими процессами, проявляются в поверхностных смещениях, которые могут быть измерены спутниковыми геодезическими методами. Сильнейшие землетрясения проявляются в смещениях земной поверхности, которые могут достигать от нескольких сантиметров до нескольких метров вблизи очага сильнейшего землетрясения. Измеренные методами спутниковой геодезии сейсмические смещения позволяют в рамках моделей глубинного строения Земли оценивать распределение подвижки в очагах землетрясений, сейсмический момент и моделировать распределение поверхностных деформаций, вызванных такими событиями [1, 2].

В работе представлены методология моделирования деформаций в зонах субдукции и подход к решению обратной задачи, возникающей при оценке распределения сейсмических смещений в очаге землетрясения. На примере Курило-Камчатского и Японского регионов представлены результаты моделирования сейсмических деформаций в гипоцентральной и эпицентральной областях сильнейших землетрясений.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Владимирова И.С.** Очаговые зоны Симуширских землетрясений 15 ноября 2006 г. (I) с $M_w=8.3$ и 13 января 2007 г. (II) с $M_w=8.1$ по данным космической геодезии // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 339–350.
2. **Сдельникова И.А., Стеблов Г.М.** Напряженно-деформированное состояние Японской зоны субдукции по данным спутниковой геодезии // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 315–319.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ШУМОВ В СЕЙСМОЛОГИИ

¹В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ¹А.В. Лисейкин, к.г.-м.н.,
²В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ¹П.В. Громыко
¹СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

В настоящее время естественная сейсмичность на территории России контролируется сейсмическими станциями ФИЦ ЕГС РАН и учитывается при принятии различных решений федеральными и местными органами управления, опираясь на карту сейсмического районирования России. В последние годы наблюдается значительное увеличение техногенной составляющей при наблюдениях над сейсмическими процессами. Вместе с тем, до настоящего времени четко не определено, кто должен наблюдать за этими явлениями, какие системы наблюдений должны при этом использоваться, кто и какие действия должен предпринимать, получив данные по техногенной сейсмичности. Выделяется два типа техногенных сейсмических воздействий на различные объекты инфраструктуры и людей. Первый – это импульсные сейсмические воздействия, весьма схожие с естественными землетрясениями, связанные с деятельностью человека (разработка больших карьеров, шахт, создание крупных водохранилищ, откачка нефти и газа из недр Земли и т.д.). Второй – длительные малоамплитудные, как правило, монохроматические воздействия на здания и сооружения, зачастую приводящие к резонансному возбуждению объектов и их разрушению.

Если первый тип техногенных воздействий (хоть и недостаточно) изучается с использованием информации, получаемой сейчас в России в основном с временных сейсмических станций (например, Бачатское техногенное землетрясение 2013 г., одно из крупнейших в мире с $ML=6.1$ [1]), то второй тип изучен весьма слабо, и специальных систем наблюдений для его изучения в России практически нет. Как правило, лишь после аварии выясняются ее причины [2].

Следует отметить, что техногенные шумы – это не только «вред», но и, если их грамотно использовать, большая «польза». Если у нас есть регистрирующие станции, расположенные на каком-то расстоянии от источника техногенных шумов, то на полученных этими станциями сейсмических записях есть информация об объектах, которые излучают колебания, изменениях их свойств во времени, о техническом состоянии агрегатов, работающих в этих объектах, и изменениях, происходящих в среде. И эту информацию можно с успехом использовать. Как правило, большинство техногенных шумов – малоинтенсивные по амплитуде, длительные по времени и изменяются по каким-то определенным законам как по интенсивности, так и по частоте. Такие сигналы можно накапливать, особенно хорошо, если известны законы их изменений.

В работе на различных примерах показано, как накапливать малоамплитудные сигналы и какую «пользу» можно извлечь из техногенных шумов.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., 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
2. *Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Брыксин А.А., Громыко П.В.* О причине аварии на Саяно-Шушенской ГЭС с точки зрения сейсмолога // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 136–140.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И СОВРЕМЕННАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

^{1,2}А.Е. Семенов

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж

²ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж

Аномальные физические поля Земли, в том числе и потенциальные, содержат информацию о строении, вещественном составе и состоянии различных горизонтов земной коры (от земной поверхности до верхов мантии).

На примере Воронежского кристаллического массива (ВКМ), одной из крупнейших структур Восточно-Европейской платформы, показано, что совместный анализ потенциальных полей позволяет районировать территорию по степени раздробленности кристаллической коры.

В структуре аномального гравитационного поля Воронежского кристаллического массива (ВКМ) четко выделяются четыре крупные региональные аномалии, отражающие крупные неоднородности верхней мантии, которые, по-видимому, определили становление и развитие литосферы ВКМ [1].

Региональный фон магнитного поля (ΔT) ВКМ, в основном, отрицательный. На этом фоне выделяется самая большая по размерам региональная положительная магнитная аномалия по линии Белгород–Курск–Брянск интенсивностью от 100 до 4000 нТл.

В структуре аномального гравитационного и магнитного полей ВКМ, кроме региональных аномалий, выделяются локальные элементы разного ранга, разной интенсивности и разной природы. Последние отражают локальные структурные неоднородности вещественного состава, зоны разломов, магматические объекты различных формаций.

Пространственное сопоставление региональных особенностей гравитационного и магнитного полей, а также суммарной площади локальных элементов разного знака и протяженности тектонических нарушений разного ранга в ячейке 1000 км² (коэффициент раздробленности – K) позволило районировать территорию региона по степени дифференцированности полей, отражающей раздробленность кристаллической коры. Выделены 14 структур с разным значением коэффициента раздробленности кристаллической коры.

Совместный анализ схемы раздробленности кристаллической коры и пространственного распределения эпицентров землетрясений показал, что наблюдается хорошая корреляция. Максимальное число эпицентров землетрясений приурочено к структурам с минимальной степенью раздробленности и к границам этих структур. Аналогичные особенности отмечают исследователи и в других регионах.

Таким образом, рассматриваемый параметр, характеризующий степень раздробленности кристаллической коры и отражающийся в характере потенциальных полей, совместно с другими параметрами может успешно использоваться при общем и детальном сейсмическом районировании платформенных территорий.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным* / Под ред. Н.М. Чернышова. – Воронеж: «Научная книга», 2012. – 330 с.

МОНИТОРИНГ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

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

На территории южной части Западной Сибири в 2020 г. сетью сейсмических станций Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН зарегистрировано более 13 тыс. сейсмических событий, из них около 9 тыс. – промышленные взрывы. Большая часть промышленных взрывов (около 90%) производится в Кузбассе. Магнитуда взрывов редко превышает 3.5. Количество взрывов в регионе более чем в два раза превышает число землетрясений. Происходит постоянное увеличение количества открытых горных выработок, рост добычи полезных ископаемых приводит к увеличению потребления взрывчатых веществ горными предприятиями [1]. Это означает, что необходимо проводить непрерывный мониторинг техногенного воздействия промышленных взрывов, оценивать степень техногенного сейсмического воздействия на недра и сопоставлять с ответной реакцией недр.

Создана система наблюдения за сейсмическим эффектом промышленных взрывов с учетом короткозамедленного взрывания и величины общего заряда взрыва. Установлено, что разрезы с наиболее сильными по магнитуде промышленными взрывами не являются разрезами с наиболее сильной наведенной сейсмичностью. Показано отсутствие землетрясений около выработок с большой энергией взрывного воздействия, и наоборот, выявлены случаи существования наведенной сейсмичности в местах отсутствия непосредственного взрывного воздействия на активизированную зону. Таким образом, нет однозначной связи между сейсмическим воздействием на земную кору от промышленных взрывов и формирующейся в регионе юга Западной Сибири наведенной сейсмичностью.

Большое различие взрывов по магнитудам позволяет поставить вопрос о качестве выполнения короткозамедленного взрывания, которое нацелено на снижение сейсмического эффекта взрывов. Теоретически взрывы должны иметь сейсмический эффект, соответствующий заряду ступени и не зависящий от общей массы заряда взрыва [2]. При этом зафиксирован рост магнитуды взрывов с увеличением общей массы заряда. Обнаруживаются факты взрывов в одном и том же разрезе с меньшим общим зарядом, но с большей магнитудой, чем у взрывов с большим общим зарядом. Фактически мониторинг промышленных взрывов позволяет контролировать правильность технологии взрывания на разрезах, и имеются возможности снижения сейсмического воздействия. Наиболее вероятной причиной повышенного сейсмического эффекта промышленных взрывов является совпадение времени инициирования зарядов в разных рядах короткозамедленного взрыва. Создание системы мониторинга взрывов привело к снижению максимальных магнитуд взрывов в Кузбассе. Нет фактов взрывов с магнитудой 4 и более, и случаи превышения магнитуды 3 являются редкими, единичными на весь Кузбасс, и рассматриваются как нарушения технологии.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адушкин В.В.* Развитие техногенно-тектонической сейсмичности в Кузбассе // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 5. – С. 709–724.
2. *Еманов А.Ф.* Влияние короткозамедленного взрывания на сейсмограммы промышленных взрывов // Геология и геофизика. – 1982. – № 9. – С. 81–89.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛИННОПЕРИОДНЫХ СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ. НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

¹А.Л. Собисевич, чл.-корр. РАН, Л.Е. Собисевич, д.т.н.

²А.Г. Фатьянов, д.ф.-м.н., ¹А.В. Разин, д.ф.-м.н.

¹ИФЗ РАН, г. Москва

²ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск

В последнее время в процессе обсерваторских наблюдений зафиксирован следующий неизвестный ранее экспериментальный факт. В периоды формирования очаговых структур крупных сейсмических событий и в момент начала землетрясения (главного толчка) современные обсерваторские информационно-измерительные системы фиксируют «мгновенное» длиннопериодное сейсмогравитационное возмущение, предвещающее P -волны в точке наблюдения [1, 2]. Известно, что для классических упругих сред никакого сигнала, предшествующего прямым продольным P -волнам, быть не может [3]. Данный парадокс ряд французских и американских авторов объясняет возникновением гравитационных волн, распространяющихся со скоростью, близкой к скорости света [1]. Другие исследователи считают недостаточно обоснованной предложенную в [1] физику объяснения сейсмогравитационного процесса [4].

Настоящий доклад посвящен теоретическому объяснению появления быстрых «мгновенных» сигналов при сильных землетрясениях. Получено новое аналитическое решение уравнения Клейна-Гордона. При этом источник имеет ультранизкую частоту, которая находится в резонансной области [5]. Аналитическое решение показало, что в данной частотной области волновой процесс состоит из двух слагаемых. Одно из них представляет «мгновенное» длиннопериодное сейсмогравитационное возмущение. Второе – это сформировавшаяся сейсмогравитационная волна P . Таким образом, происхождение длиннопериодного сейсмогравитационного процесса, развивающегося в формирующейся резонансной очаговой области крупного сейсмического события, в первом приближении можно объяснить, используя классическое уравнение Клейна-Гордона [6]. Приведены результаты аналитического моделирования, показывающие хорошее совпадение с результатами приведенных натуральных наблюдений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН и ИВМиМГ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Vallee M., Ampuero J.P., Juhel K., Bernard P., Montagner J.-P., Barsuglia M.* Observations and modeling of the elastogravity signals preceding direct seismic waves // *Science*. – 2017. – V. 358. – P. 1164–1168. doi: 10.1126/science.aao0746
2. *Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х.* УНЧ возмущения в вариациях магнитного поля Земли (результаты обсерваторских наблюдений). – М.: ИФЗ РАН, 2019. – 224 с.
3. *Аки К., Ричардс П.* Количественная сейсмология: Теория и методы. В 2-х т. Т. 2. – М.: Мир, 1983. – С. 88.
4. *Kimura M., Kame N., Watada S., Ohtani M., Araya A., Imanishi Y., Ando M., Kunugi T.* Earthquake-induced prompt gravity signals identified in dense array data in Japan // *Earth, Planets and Space*. – 2019. – V. 71, N 27. doi: 10.1186/s40623-019-1006-x
5. *Морс Ф.М., Феибих Г.* Методы теоретической физики. В 2-х т. Т. 1. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. – 931 с.
6. *Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Фатьянов А.Г.* Длиннопериодные сейсмогравитационные процессы в литосфере. – М.: ИФЗ РАН, 2020. – 228 с.

РАЗВИТИЕ СЕТИ РЕЖИМНЫХ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА

¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ¹А.Ф. Еманов, д.т.н.,
²В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ¹С.А. Елагин, ¹Н.А. Галёва
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск

В течение нескольких десятилетий в Алтае-Саянском регионе на Быстровском вибросейсмическом полигоне АСФ ФИЦ ЕГС РАН выполняются испытания искусственных управляемых источников сейсмических волн, предназначенных для исследования внутренних оболочек Земли, проведения экспериментальных исследований по ряду фундаментальных проблем геофизики (таких, как исследование напряженного и метастабильного состояний твердой среды), разработки и опробования новых методов выявления предвестников опасных сейсмических событий, изучения нелинейных взаимодействий геофизических полей разной природы и др. [1, 2]. Одной из главных тем исследований, которые начались фактически сразу после установки 100-тонного вибратора на Быстровском полигоне в начале 80-х гг. прошлого столетия, были режимные вибросейсмические наблюдения. Первые эксперименты по изучению повторяемости волнового поля выполнялись в ближней зоне и на удалении 20 км от вибратора ЦВ-100. С 1996 по 2004 г. со 100-тонным вибратором проводились регулярные наблюдения с интервалом в 7–10 дней на сейсмостанции «Новосибирск» на удалении ~50 км. В дальнейшем и по настоящее время режимные наблюдения выполняются с 40-тонным вибратором ЦВ-40 [1, 3, 4]. Наряду с отработкой методики и техники режимных наблюдений изучались волновые поля от вибраторов и прохождение монохроматических сигналов по площади на удалениях до 500–1000 км [1–4].

С целью расширения апертуры режимных вибросейсмических наблюдений в Алтае-Саянском регионе в последние годы были начаты исследования по выявлению сейсмических станций с хорошим прохождением сигналов от вибратора [3, 4]. Приведены результаты экспериментов по исследованию характеристик излучения мощных вибраторов и условий приема на ряде сейсмостанций Алтае-Саянского региона в диапазоне удалений 50–450 км. Показано, что реальный эффективный диапазон вибратора ЦВ-40 может быть существенно увеличен за счет использования кратных и полукратных гармоник. Предложена и опробована методика оценки применимости станций для вибромониторинга с использованием специальных программ оценки сейсмического фона и сейсмических резонансов в пределах размещения сейсмостанций.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев А.С., Геза Н.И., Глинский Б.М., Еманов А.Ф., Кашун В.Н., Ковалевский В.В., Манштейн А.К., Михайленко Б.Г., Селезнев В.С., Сердюков С.В., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Соловьев В.М., Хайретдинов М.С., Чичинин И.С., Юшин В.И.* Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, фил. «Гео», 2004. – 386 с.
2. *Чичинин И.С., Юшин В.И.* Вибробратия. Воспоминания геофизиков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. – 108 с.
3. *Соловьев В.М., Еманов А.Ф., Елагин С.А., Галёва Н.А.* Развитие сети вибромониторинга в сейсмоактивном Алтае-Саянском регионе // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 2, № 2. – С. 46–55.
4. *Soloviev V.M., Seleznev V.S., Emanov A.F., Yushin V.I., Kashun V.N., Elagin S.A., Liseikin A.V.* Wave fields from powerful vibrators in active seismology and depth seismic researches // Active geophysical monitoring, second edition (the “Work”) / Eds. Kasahara J., Zhdanov M.S., Mikada H. – The Netherlands: Elsevier, 2019. – P. 389–404.

ГЛУБИННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВОСТОЧНО-СТАНОВОМ ФРАГМЕНТЕ ОПОРНОГО ПРОФИЛЯ 8-ДВ

¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ²В.С. Селезнев, д.г.-м.н., ³А.С. Сальников, д.г.-м.н.,
³Т.А. Сальников, ⁴Т.В. Кашубина, ¹Н.А. Галёва
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
³АО «СНИИГГиМС», г. Новосибирск
⁴ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург

Представлены материалы глубинных сейсмических исследований на Восточно-Становом фрагменте опорного геофизического профиля 8-ДВ в пределах крупных тектонических зон – Селенгино-Становой и Амурской складчатых областей Центрально-Азиатского складчатого пояса. Приведены методика работ, реализуемые системы наблюдений, волновое поле и результаты глубинных сейсмических исследований. Показано, что от взрывов на 700-километровом геофизическом профиле зарегистрированы продольные и поперечные волны от опорных границ в земной коре и поверхности Мохоровичича. Установлено неоднородное скоростное строение по данным продольных волн верхней части земной коры до глубин 15–20 км и поверхности Мохоровичича. В целом мощность земной коры в пределах Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ составляет 37–42 км. Скорости продольных волн в коре и мантии изменяются на профиле соответственно от 6.35 до 6.5 км/с и от 7.9 до 8.5 км/с. Наиболее высокими значениями скорости продольных волн в верхней части коры на профиле характеризуются участки высокогорных хребтов и плоскогорий. Низкие значения скорости *P*-волн (3–5 км/с) установлены в зоне Верхнезейской и Амуро-Зейской впадин. На глубинах 10–15 км скорости продольных волн в целом по профилю возрастают до 6.20–6.30 км/с. На ряде участков профиля в данном интервале глубин выделяются локальные высокоскоростные неоднородности в 6.4–6.6 км/с (и даже 7.0 км/с). Результаты выполненных исследований согласуются с результатами глубинных сейсмических исследований прошлых лет на профилях р. Зeya – р. Селемджа – р. Буряя (ГСЗ, 1985 г.) [1] и 3-ДВ (Южный участок, 2009 г.) [2].

Проведено сопоставление установленных особенностей сейсмического строения на профиле 8-ДВ с тектоникой региона. Значительные сейсмические неоднородности в земной коре и мантии коррелируют с Амуро-Охотской складчатой системой (или восточной ветвью Монголо-Охотского шва) в зоне сочленения крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса – Селенга-Становой и Амурской складчатой областей. По границе Мохоровичича здесь отмечается сильное понижение граничной скорости до 7.8 км/с. Локальное понижение скорости продольных волн (до 6.2–6.3 км/с) отмечается также и в целом во всей толще земной коры на данном участке.

Полученный ряд новых сведений о детальном распределении скоростей в земной коре и верхней мантии дает дополнительные данные, позволяющие по-новому взглянуть на историю образования и развития данного региона, что весьма важно в задаче генезиса и размещения месторождений полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Анненков В.В. Глубинное сейсмическое зондирование на Буреинском массиве // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 98–107.
2. Сальников А.С., Ефимов А.С., Соловьев В.М., Еманов А.Ф. Глубинное строение области сочленения Центрально-Азиатского складчатого пояса и Сибирской платформы по данным глубинных сейсмических исследований в сечении профиля 3-ДВ (Сковородино–Томмот) // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции / Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. – Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2011. – С. 306–309.

К ОБОСНОВАНИЮ ВЫСОКИХ СКОРОСТЕЙ P- И S-ВОЛН В ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЗАБАЙКАЛЬЯ

¹В.М. Соловьев, к.г.-м.н., ²В.С. Селезнев, д.г.-м.н.,
³В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н., ⁴А.С. Сальников, д.г.-м.н., ¹Н.А. Галёва
¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск
⁴АО «СНИИГГиМС», г. Новосибирск

Сейсмическими исследованиями на опорном геолого-геофизическом профиле 1-СБ и площадными сейсмологическими исследованиями в Прибайкалье и Забайкалье, в юго-восточной части Забайкалья в верхней мантии, по данным P- и S-волн выделен высокоскоростной мантийный блок с поперечными размерами около 600×600 км [1]. Скорости P- и S-волн по границе Мохоровичича в его пределах повышены соответственно до 8.4–8.45 и 4.8–4.85 км/с. В пределах Забайкальского фрагмента профиля 1-СБ – это область сочленения Восточно-Забайкальской и Саяно-Байкальской складчатых областей Центрально-Азиатского складчатого пояса, разделенных Монголо-Охотским поясом [1].

Анализ геолого-геофизических и геодинамических сведений по району исследований позволяет сделать предположение, что выделенный по данным сейсмологии и ГСЗ высокоскоростной слой в верхней мантии в юго-восточной части Забайкалья является пластиной эклогитов (или эклогитоподобных пород) в районе Монголо-Охотского орогенного пояса. Так, согласно геодинамическим исследованиям [2], формирование позд-непалеозойско-раннемезозойского Монголо-Охотского орогенного пояса связывается с закрытием существовавшего на его месте океанического бассейна и субдукцией океанической коры под смежные континентальные окраины. В зонах субдукции океанической плиты возможно образование глаукофановых сланцев и эклогитов. Последние выступают как химические эквиваленты габбро и базальтов, но превышают их по плотности на 20–25%, а значит, и скорости P- и S-волн выше, чем у пород верхней части верхней мантии. Теоретические (рассчитанные по минеральному составу) и экспериментальные (при исследовании образцов) значения скоростей P- и S-волн для эклогитов, полученные авторами, при давлениях в верхней мантии (до 10 кбар) составили, соответственно, 8.20–8.65 и 4.65–4.80 км/с. Было показано также, что эклогиты характеризуются повышенными значениями V_P/V_S (до 1.8–1.9) и коэффициентом Пуассона (σ) до 0.27–0.28, коррелирующими с сейсмическими данными для выделенного высокоскоростного блока ($V_P/V_S=1.80–1.82$, $\sigma=0.270–0.285$ [1]).

В пользу мощного однородного высокоскоростного слоя (пластины эклогитоподобных пород) свидетельствуют и другие сейсмические данные ГСЗ и метода ОГТ в данной зоне. В разрезах ГСЗ и ОГТ на профиле 1-СБ высокоскоростной мантийный блок несколько приподнят относительно сопредельных участков и залегает практически горизонтально на глубине 40 км. На годографах динамически выразительных преломленных волн от границы Мохоровичича до больших удалений в 400–500 км отсутствует увеличение кажущейся скорости (соответственно значимой рефракции), в разрезе ОГТ ниже поверхности Мохоровичича отмечается отсутствие видимых отражений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Чечельницкий В.В., Галёва Н.А. Верхняя мантия Прибайкалья и Забайкалья по данным площадных сейсмологических исследований // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 7–17. doi: 10.35540/2686-7907.2020.1.01
2. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 1–41.

ВЛИЯНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПОДВОДНЫЙ МИР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

А.П. Соломонова, Е.П. Семенова, Т.А. Фокина
СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск

Влияние землетрясений на поведение животных не имеет как обоснованного научного объяснения, так и строгого научного подтверждения. Между тем, сама проблема становится все актуальней. В науке накапливаются сообщения о нетипичном и необычном поведении животных перед землетрясением, об их миграциях из привычных мест обитания [1].

Очевидно, что животные так или иначе умеют предсказывать сейсмические события. Особенно чувствительны к приближающимся колебаниям земной коры рептилии, амфибии и рыбы. Объяснить такое поведение непросто, так как сильные землетрясения случаются нечасто и отследить поведение животных в момент землетрясения крайне сложно.

Анализ литературы в рамках темы исследования показал, что в Российской Федерации проблемой прогнозирования землетрясений при помощи наблюдений за поведением животных занимаются около 20 академических институтов, но проблемой воздействия сейсмических явлений на живые организмы – лишь единицы. В частности, проблемой влияния сейсмических шумов на морских животных занимаются отдельные экологические компании [2].

Дальневосточный регион, который включает в себя 4.8 млн. км² акватории окраинных морей северо-западной части Тихого океана, по праву можно назвать местом повышенной сейсмической активности и богатейшим регионом по биологическому разнообразию морских ресурсов. Именно эти два фактора дают возможность изучать влияние землетрясений на подводный мир наиболее глубоко.

В нашем исследовании было проанализировано влияние сильных землетрясений Дальневосточного региона на места обитания и поведение морских животных.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мотодзи И.* Землетрясения и животные: от народных примет к науке / Под ред. Г.Ю. Бутузовой и Л.И. Лобковского; пер. с англ. В.Д. Мильграма. – М.: Научный мир, 2008. – 292 с.
2. *Веденев А.И.* Анализ влияния морской и прибрежной сейсморазведки и бурения скважин на миграцию лосося на о. Сахалин. – М.: WWF России, 2009. – 20 с.

РЕЛОКАЦИЯ АФТЕРШОКОВ КУЛТУКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ МЕТОДОМ КВАДРАТИЧНЫХ КООРДИНАТ

¹В.Д. Суворов, д.г.-м.н., ²Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н., ³Н.А. Гилёва

¹ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

²БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ

³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Учет влияния трехмерной неоднородности земной коры на распределение очагов землетрясений и обоснование их связи со структурно-тектоническими характеристиками среды относятся к трудно решаемой проблеме. Обычно применяется стартовая одномерная модель, а по невязкам между наблюдаемыми и расчетными значениями времен пробега определяются и локализуются неоднородности среды. При этом остается вне рассмотрения зависимость величины невязок от аномалий скорости, соответствующих изменениям глубины очагов и эпицентральных расстояний. В рамках метода квадратичных координат [1] проведен специализированный анализ распределения невязок времен пробега в зависимости от искомым параметров, результаты которого рассматриваются на примере обработки данных афтершоков Култукского землетрясения ($M_w=6.3$, 27.08.2008 г.). Использовано 106 событий, зарегистрированных 4–7 станциями, разделенными на три группы, со средними значениями глубины 8, 10 и 12 км и стартовыми значениями средней скорости продольных волн 6.09, 6.12 и 6.14 км/с.

В таком приближении время пробега волны от очага до станции вдоль прямолинейной траектории соответствует половине времени отраженной волны. При этом годограф такой волны в квадратичных координатах может быть представлен в виде разложения в ряд Тейлора: $x^2 = -h^2 + V^2 \cdot t^2 + a/(16 \cdot h^2 \cdot V^4) \cdot t^4 + \dots$, где x – эпицентральное расстояние, h – глубина очага, V – средняя (эффективная) скорость, t – время пробега, a – коэффициент в третьем слагаемом выражает степень неоднородности среды (пропорционально отклонению от средней скорости) [1]. В рассматриваемых данных эпицентральные расстояния лишь в отдельных случаях достигают величины $3h$, при которой третий член ряда можно не принимать во внимание. Интересной особенностью годографа в квадратичных координатах, когда ось ординат соответствует значениям x^2 , а абсцисса – величине t^2 (обратная функция $x^2(t^2)$), является то, что пересечение годографа с осью $t=0$ определяет квадрат глубины ($-h^2$), а наклон – квадрат эффективной скорости.

Анализ отклонения величины квадрата эпицентральных расстояний для фиксированного события позволяет определить квадрат отклонения глубины события относительно квадратичного модельного годографа (первого приближения) при заданных временах пробега, а наклон – поправку в значение скорости. В результате получен общий тренд увеличения скорости с глубиной от 5.6–5.8 до 6.4–6.5 км/с при заметном разбросе, связанном с латеральными изменениями скорости. При этом величина эпицентральных расстояний изменяется в полосе от -2 до 2 км, а глубина – от -2 до $+3$ км. Такие вариации по латерали показывают определенную упорядоченность, для изучения природы которой необходимо использование и данных поперечных волн.

Направление было инициировано Комплексной программой фундаментальных исследований СО РАН на 2018–2020 гг. (П.1.71.1) и продолжается в рамках бюджетных проектов ФНИ «Структуры и напряженно-деформированное состояние земной коры платформенных и складчатых областей Центральной Азии на основе совместного решения обратных задач сейсмологии и гравиметрии» и «Исследование факторов, определяющих закономерности развития сейсмического процесса и сейсмическую опасность Прибайкалья».

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдин С.В., Суворов В.Д. Методы квадратичных координат в задаче интерпретации годографов отраженных волн // Геология и геофизика. – 1977. – № 9. – С. 114–125.

О ПРИЧИНАХ ВНУТРИСУТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

Д.Г. Таймазов, к.ф.-м.н., М.Г. Магомед-Касумов, к.ф.-м.н.,
Т.И. Шарапудинов, к.ф.-м.н., М.С. Султанахмедов
ДФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Махачкала

Суточные вариации слабой сейсмичности выявлены во многих регионах мира, но об их причинах нет единого мнения [1–3]. Существует ряд гипотез, объясняющих это явление вариациями метеорологических факторов, неравномерностью вращения Земли, вариациями магнитного поля Земли, антропогенными факторами, высокими фоновыми помехами в дневное время суток, вариациями наклона графика повторяемости, вариациями уровня естественного электромагнитного излучения в сверхнизкочастотном диапазоне. В настоящей работе мы рассматриваем только колебания метеорологических факторов: атмосферного давления и температуры, напрямую связанных с суточными колебаниями интенсивности солнечной радиации. В работе [1] в качестве наиболее вероятного механизма появления суточной периодичности землетрясений рассматривается влияние бегущей вслед за движением Солнца с востока на запад волны атмосферного прилива, вызывающей локальные деформации твердой оболочки Земли. Однако выявленное на территории Восточного Кавказа доминирование в вариациях слабой сейсмичности суточной гармоник S_1 [3], с одной стороны, и показанное нами ранее доминирование полусуточной гармоник S_2 в вариациях атмосферного давления [4], с другой, позволяют однозначно исключить фактор атмосферного давления из возможных причин суточных вариаций сейсмичности. С температурой дело обстоит иначе. Во временных рядах непрерывных температурных наблюдений в скважине на территории Дагестана за 2009–2019 гг. отчетливо выделены устойчивые внутрисуточные гармоники S_1 , S_2 , S_3 и S_4 . На графиках временного хода амплитуд этих гармоник в период 2010–2018 гг. выявлено пять синхронных пиков высотой более 10σ , четыре из которых совпадают по времени с наиболее сильными землетрясениями мира [5]. С другой стороны, спектральный анализ сейсмических наблюдений на территории Новой Зеландии показал наличие в них тех же гармоник, что и в температурных наблюдениях – спектры практически идентичны. С учетом удаленности регионов Дагестан – Новая Зеландия, совпадения можно объяснить лишь тем, что эти явления обусловлены одной общей причиной, связанной с Солнцем. В работе подробно рассмотрены возможные механизмы такой взаимосвязи.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений и ее сезонные изменения // Сейсмические приборы. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 69–84.
2. Журавлев В.И., Лукк А.А. Особенности суточной периодичности слабых землетрясений Ирана // Физика Земли. – 2012. – № 1. – С. 63–81.
3. Таймазов Д.Г., Магомед-Касумов М.Г., Шарапудинов Т.И., Султанахмедов М.С. О суточной периодичности слабых землетрясений Восточного Кавказа // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019. – № 2 (77). – С. 86–94.
4. Таймазов Д.Г., Лугуев Т.С., Шарапудинов Т.И. Об изменчивости функций связи между когерентными гармониками во временных рядах атмосферного давления и пьезометрических уровней в скважинах // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2009. – № 55. – С. 272–279.
5. Таймазов Д.Г., Магомед-Касумов М.Г., Шарапудинов Т.И., Султанахмедов М.С. Результаты обработки температурных наблюдений в скважине вблизи Чиркейского гидроузла за 2009–2019 гг. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019. – № 1 (76). – С. 26–31.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОБЕГА СНЕЖНЫХ ЛАВИН ПО ДАННЫМ ИНФРАЗВУКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

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

Ежегодно снежные лавины уносят десятки человеческих жизней в различных горных районах планеты, а также приносят значительный экономический урон, воздействуя на транспортную инфраструктуру, туристическую и промышленную сферы [1]. При этом сам феномен лавинообразования, природа и закономерности его проявлений остаются крайне малоизученными в силу объективной сложности наблюдений. По существу, вся накопленная информация о сходах снежных лавин получена методами прямого визуального наблюдения, то есть существенно ограничена как территориально, так и по времени.

В 2017 г. в Кольском филиале (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН была начата работа по отработке методов дистанционного геофизического мониторинга лавинной активности по данным инфразвуковой и сейсмической регистрации [2]. Стоит отметить, что подобные работы, начатые в конце 1980-х гг. в СССР [3], долгие годы не находили своего развития, однако значительно активизировались в последнее десятилетие.

В течение сезонов 2018–2020 гг. был выполнен ряд экспериментов по регистрации инфразвуковых сигналов от принудительно спускаемых лавин на склонах Хибинского горного массива. В ходе этих экспериментов отрабатывались различные варианты конфигурации аппаратной части комплекса инфразвукового мониторинга, проверялись как возможности регистрации сигналов в прямой видимости от лавинного очага, так и возможности регистрации в осложненных рельефом условиях, изучались характеристики сигналов, генерируемых сходом снежных лавин. В результате этих работ собрана большая база исходных данных, на которой велась отработка программных средств автоматического обнаружения целевых сигналов.

Результаты обработки инфразвуковых сигналов, собранных в ходе экспериментальных измерений, показали, что предлагаемые методы позволяют уверенно регистрировать низкочастотные акустические сигналы от снежных лавин на удалении до 5 км от очага, при этом с достаточной точностью определяются такие параметры, как азимут на точку отрыва лавины и азимут на нижний срез ее тела. Таким образом, проецируя азимутальные лучи на рельеф местности, можно построить трек пробега лавины и определить скорость ее движения. При этом определение параметров объема сошедшего снега по данным инфразвуковых наблюдений в настоящий момент остается нерешенной задачей, требующей накопления большей базы данных наблюдений, подкрепленной подтвержденными оценками параметров сошедших лавин.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванов М.Н., Федотова Д.А.** Статистика жертв снежных лавин в Хибинах // Тезисы докладов XVI гляциологического симпозиума г. Санкт-Петербург 24–27 мая 2016 г. / В.М. Котляков, С.С. Кутузов (ред.). – СПб., 2016. – С. 12.
2. **Федоров А.В., Федоров И.С., Воронин А.И.** Регистрация снежных лавин сейсмоинфразвуковым методом // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 273–276.
3. **Фирстов П.П., Суханов А.А., Пергамент В.Х., Радионовский М.В.** Акустические и сейсмические сигналы от снежных лавин // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 312, № 1. – С. 67–71.

ПОСТРОЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ЗАПИСЯМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

^{1,2}А.С. Фомочкина, к.т.н., ¹Б.Г. Букчин, к.ф.-м.н.

¹ИТПЗ РАН, г. Москва

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

В работе рассматривается возможность построения параметров очагов двух небольших землетрясений – в Акабе (27 июня 2015 г., $M_w=5.5$) и в Мертвом море (7 апреля 2018 г., $M_w=4.8$) – по записям поверхностных волн. Для этой цели используются записи фундаментальных мод Лява и Релея, зарегистрированные станциями сетей IRIS, GEOSCOPE и GEOFON, полученные с помощью программы Wilber 3 [1]. Так как фазовый спектр смещений зависит от скорости распространения поверхностных волн, которые для реальной Земли недостаточно точно известны, мы исследуем лишь амплитудные спектры. Данная методика успешно применялась нами ранее, например, в [2].

На первом этапе мы описываем источник в нулевом приближении тензора момента, рассматривая мгновенную точечную сдвиговую дислокацию (двойной диполь) на заданной глубине. Такой источник задается пятью параметрами: его глубиной, фокальным механизмом, определяемым углами простирания, падения и подвижки, и сейсмическим моментом. По амплитудным спектрам получаем четыре эквивалентных решения [3]. Для однозначного выбора решения используются дополнительные данные, такие как знаки первых вступлений P -волны, или для каждого из решений рассчитываются фазовые спектры. Строится совместная невязка, и уже минимальное значение совместной невязки позволяет выбрать единственное решение.

На втором этапе рассматриваем очаг в предположении плоского источника. В этом случае очаг описывается следующими интегральными параметрами: продолжительностью процесса в очаге, длиной большой оси источника, длиной малой оси источника, скоростью мгновенного центроида, углом между большой осью источника и осью простирания, углом между направлением движения мгновенного центроида и осью простирания [4].

Качество полученных решений оценивается с помощью функции нормированной невязки. Данная функция характеризует отличие теоретических амплитудных спектров от наблюдаемых. В случае небольших землетрясений разрешение данной функции для некоторых параметров настолько мало, что получить решение не представляется возможным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Wilber 3: Select Event* // IRIS [Site]. – URL: http://ds.iris.edu/wilber3/find_event
2. *Фомочкина А.С., Букчин Б.Г.* Построение модели Аляскинского землетрясения 2018 г. по спектрам поверхностных волн // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 282–286.
3. *Букчин Б.Г.* Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // Известия АН СССР. Серия: Физика Земли. – 1989. – № 9. – С. 34–41.
4. *Букчин Б.Г.* Описание очага землетрясения в приближении вторых моментов, и идентификация плоскости разлома // Физика Земли. – 2017. – № 2. – С. 76–83.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛОТИНЫ ГИССАРАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА УЗБЕКИСТАНА

Х.Л. Хамидов, к.т.н., Б.Р. Ганиева, Ф.И. Ибрагимов, С.Г. Анварова
ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Исследование влияния высокочастотных колебаний от слабых землетрясений является важной основой обеспечения оперативности исходной сейсмометрической информации для контроля динамической устойчивости Гиссаракской плотины. При обеспечении сейсмической безопасности эксплуатации плотины Гиссаракского водохранилища на фоне естественных и техногенных сейсмических процессов получены более точные сейсмометрические данные о механизмах колебания горных массивов [1, 2]. Основание плотины Гиссаракского водохранилища расположено в едином тектоническом блоке и в зонах сейсмичностью 7 и 8 баллов [1]. Сейсмоприемники размещены как на поверхности и на площадках уступов карьера Гиссаракского водохранилища, так и в скважинах глубиной 100–250 м, пробуренных за верхним контуром грунтово-насыпной плотины. Расстояние между сейсмоприемниками составляет порядка 100–200 м, при этом наблюдениями охватывается объем пород с максимальным поперечным размером 300–500 м [1, 2].

Исследование режима сейсмичности показало, что большинство слабых землетрясений, происходящих в ближней зоне Гиссаракского водохранилища, обусловлено интенсивностью эксплуатации водохранилища. Данная работа посвящена представлению результатов анализа цифровой записи колебаний плотины Гиссаракского водохранилища и кинематических параметров на разных ее участках при сейсмических и несейсмических динамических нагрузках. Результаты инструментальных сейсмометрических исследований показали, что максимально возможные сейсмические ускорения находятся в пределах 0.29–0.37 g, или в диапазоне 7–8 баллов. Необходимо отметить, что тело плотины Гиссарак покрыто насыпными рыхлыми массивами со средней плотностью 1.6 г/см^3 , мощность которых достигает интервально по сечениям берм до 5.0 м. Специально проведенные измерения на неизменных массивах в естественном состоянии показали приращение балльности +0.5 (+0.28 g). С учетом того, что насыпная зона сильно консолидирована, видимо, можно принять максимально возможную интенсивность сейсмических воздействий $J=8$, а максимальные ускорения – 0.29 g. Анализируя полученные записи, выявлен диапазон изменения поперечной волны в пределах 564–655 м/с. Измерениями на нетронутым массиве берегового склона определено приращение интенсивности колебаний на гребне Гиссаракской плотины, которое составило 1.2 раза по отношению к основанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Р.* Разработка проекта и создания локальных сетей мониторинга сейсмической опасности в крупных водохранилищах, расположенных зонах 8–9-балльной сейсмичности Узбекистана // *Seismologia Muammolari*. – 2020. – № 2 (2). – С. 74–83.
2. *Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л.* Оценка колебания плотин Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ Южного Узбекистана // *Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата – ГЕОРИСК-2018: Материалы X Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков: в 2 т. Т. 2.* – М.: РУДН, 2018. – С. 52–57.

МАЛОГЛУБИННЫЕ ПОИСКОВЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РЕГИОНЕ ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА ВИКТОРИЯ (ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ)

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

В отличие от большинства регионов Восточной Африки, где широко развиты как рудные, так и россыпные месторождения золота, в Танзании сегодня нет ни одной крупной золотоносной россыпи, которая по запасам была бы сравнима с уже разведанными здесь месторождениями рудного золота. Вероятнее всего данный факт объясняется тем, что на этой территории никогда не проводились широкомасштабные и стадийные поисковые работы.

Учитывая геологические предпосылки, с целью выявления и локализации перспективных участков россыпной золотоносности российская компания «Золотодобывающая корпорация» проводит на южном побережье озера Виктория опережающие сейсморазведочные работы (методика преломленных волн, станция SGD-SEL). Их задача – решение вопросов, связанных с расчленением разреза рыхлых отложений на отдельные горизонты, характеризующиеся различным литологическим, гранулометрическим составом и установлением их совокупной мощности. Также в круг задач этих исследований входят оценка морфологии рельефа жесткого основания коренных пород, выделение погребенных террас, ложков и палеорусел [1, 2].

Обработка новых результатов сейсмических исследований и параметрического бурения (2019 г.) выявила четырехслойный акустический скоростной разрез, которому дана следующая интерпретация: первый слой (300–1400 м/с) – не обводненные покровные отложения; второй слой (1400–2000 м/с) – аллювиальные валунно-галечниковые и галечниковые отложения и слабо сцементированные карбонатные озерные осадки; третий слой (2000–3500 м/с) – делювиально-элювиальные отложения с элементами площадной коры выветривания подстилающего интрузивного массива; четвертый слой (более 3500 м/с) – слабо- и неизменные коренные породы интрузивного массива, сильно трещиноватые граниты кровли коренного ложа долины реки.

По данным сейсмических зондирований, совокупная мощность рыхлых образований меняется от 28–30 до 14–15 м. Второй и третий слои потенциально могут аккумулировать россыпное золото.

Рисунок рельефа коренных пород указывает на наличие как минимум двух погребенных террас. Параметры установленных аллювиальных и элювиальных образований, а также выделенные линейные участки погребенных русловых врезов способны локализовать аллювиальные россыпи промышленных масштабов.

Проведенные сейсмические работы позволили сократить объем планируемых буровых работ на 40%, что сэкономило порядка 300 тыс. \$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Давыдов В.А.* Применение малоуглубинной сейсморазведки для изучения подработанных территорий // Известия вузов. Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 111–116.
2. *Гайдай Н.К., Хасанов И.М.* Эффективность сейсморазведки при поисках аллювиальных месторождений золота в различных состояниях геологической среды // Вестник Северо-Восточного государственного университета. – 2019. – Вып. 32. – С. 58–60.

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

М.А. Хритова, к.т.н., С.Ю. Тошаков, Е.А. Кобелева, к.ф.-м.н.
БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

В 2020 г. для организации удаленного доступа к компьютерам сейсмических станций и отдельных пользователей к локальной сети Байкальского филиала (БФ) ФИЦ ЕГС РАН применена технология виртуальных частных сетей – VPN [1], которая позволяет использовать открытую сеть Интернет для создания частных зашифрованных каналов подключения.

В БФ ФИЦ ЕГС РАН используется свободное кроссплатформенное программное обеспечение для организации виртуальной частной сети OpenVPN с открытым исходным кодом, позволяющее устанавливать соединения между компьютерами, находящимися за NAT и сетевым экраном, без необходимости изменения их настроек [1]. Для обеспечения безопасности управляющего канала и потока данных OpenVPN использует криптографическую библиотеку OpenSSL [2]. Таким образом получают высокозащищенные, зашифрованные, производительные каналы для организации туннеля между клиентами сети через Интернет.

VPN-сеть БФ ФИЦ ЕГС РАН представляет собой отдельную локальную сеть с собственной IP-адресацией, с выделенным OpenVPN-сервером на базе операционной системы Ubuntu 18.04.4 LTS server и удостоверяющего центра для генерации сертификатов. Каждому клиенту выделяется «common name» для подключения как из локальной сети, так и из Интернета, которое связано с отдельным сертификатом и IP-адресом. Это исключает анонимное подключение к сети и позволяет обнаружить несанкционированное подключение. Таким образом создается отдельная защищенная локальная сеть, в состав которой входят узлы: сейсмические станции, компьютеры филиала и домашние компьютеры некоторых сотрудников организации.

Для удаленного доступа к рабочим станциям используется SSH-протокол и кроссплатформенная клиент-серверная служба Virtual Network Computing (VNC) [3]. Управление осуществляется путем передачи нажатий клавиш на клавиатуре и движений мыши с одного компьютера на другой и ретрансляции содержимого экрана через компьютерную сеть. В качестве программного обеспечения для VNC используется клиент-сервер TightVNC с оптимизацией работы в условиях медленных каналов передачи данных.

В текущем году в созданную виртуальную сеть, помимо рабочих компьютеров локальной сети Байкальского филиала, входят сейсмические станции, на которых организовано постоянное Интернет-подключение, и домашние компьютеры отдельных сотрудников. В дальнейшем планируются включение в сеть большинства сейсмостанций БФ ФИЦ ЕГС РАН и организация передачи непрерывных сейсмических данных со станций на базе примененной технологии VPN.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Майоров В.В.* Современные VPN-сети // Научные труды КубГТУ. Электронный сетевой политематический журнал. – 2016. – № 13. – С. 121–128.
2. *Стахов В.* Теория и практика OpenSSL // Системный администратор. – 2003. – № 1 (2). – С. 16–26.
3. *Захаров С.* Virtual Network Computing. Инструмент поддержки пользователей // Системный администратор. – 2010. – № 7–8 (92–93). – С. 40–45.

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАЙКАЛА

^{1,2}Л.Р. Цыдыпова, к.г.-м.н., ^{1,2}Ц.А. Тубанов, к.г.-м.н.,
^{1,2}П.А. Предин, ^{1,2}Д.П.-Д. Санжиева
¹ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ
²БуФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Улан-Удэ

Мониторинг текущего состояния сейсмичности сейсмоактивных областей и предоставление информации о землетрясениях является достаточно востребованной задачей. Использование количественных данных для качественной оценки уровня сейсмической активности региона позволяет получить интуитивно понятную информацию о сейсмичности путем создания формализованной шкалы сейсмичности. Таким образом формируется и определяется понятие «сейсмический фон» для конкретного региона, что позволяет в дальнейшем проводить оценку и сравнение сейсмического режима различных регионов и областей.

Для создания шкалы уровня сейсмичности Центрального Байкала использована методика «СОУС'09» [1]. Метод основан на расчете статистической функции распределения десятичного логарифма суммарной сейсмической энергии заданного пространственного объекта в определенный временной интервал. Для расчетов функции распределения использовался каталог землетрясений за 1962–2019 гг., включающий в себя свыше 3.5 тыс. землетрясений с энергетическим классом $K \geq 8.5$.

Для расчета базового (минимального) промежутка для задач мониторинга сейсмичности исследуемой территории нами было рассмотрено несколько интервалов времени – от года и менее. На основании количественных показателей взят характерный промежуток, равный трем месяцам. Мониторинг сейсмической энергии позволил отследить внутригодовые изменения сейсмической обстановки на Центральном Байкале. Также была проанализирована устойчивость получаемой оценки вероятности выделения сейсмической энергии в зависимости от периода исследования.

Уровень сейсмичности определялся по шкале, предложенной в [2]. Таким образом, для сейсмоактивной области Центрального Байкала был определен фоновый уровень, который оценивался непосредственно по значению суммарной сейсмической энергии, выделившейся на территории района в течение трех месяцев, и лежит в диапазоне от 10 до 14 $\lg(E, Дж)$.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 и темы НИР АААА-А21-121011890033-1.

ЛИТЕРАТУРА

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

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ

Д.В. Чебров, к.ф.-м.н.
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Последние годы Камчатская система сейсмического мониторинга имела крайне ограниченные возможности для увеличения количества пунктов наблюдений. Поэтому основные усилия были направлены на развитие и модернизацию методов и средств организации наблюдений, сбора и обработки данных, а также на поддержание работоспособности существующих сейсмических станций. В результате достигнут ряд успехов по созданию информационного пространства, в которое сведены все процессы – от сбора данных и их обработки до представления результатов обработки и организации обмена данных с внешними потребителями. Глубокой модернизации была подвергнута система хранения сейсмических данных, обеспечен высокоскоростной доступ к архиву данных, развернуты высокопроизводительные вычислительные кластеры, все сейсмические станции сведены в единую корпоративную сеть. Разработаны новые алгоритмы и созданы программные средства для обработки данных. В результате модернизированы традиционные методики обработки и, кроме того, развиваются новые. В частности, проводится локация вулканических треморов для групп вулканов. Такие данные можно получить для районов, в достаточной мере обеспеченных наблюдениями.

Развитие Единой информационной системы [1] позволило обеспечить доступ к результатам обработки, а также создать информационный шлюз, который обеспечивает автоматический и оперативный обмен данными с внешними пользователями.

В 2016–2020 гг. был обеспечен сейсмический мониторинг Камчатки и прилегающих территорий, включая локальный мониторинг действующих вулканов. Зарегистрировано и обработано свыше 85000 вулканических и тектонических землетрясений.

Развитие единого информационного пространства, среди прочего, направлено на создание средств цифровизации и автоматизации формирования комплексных экспертных прогностических заключений (о возможных землетрясениях и извержениях вулканов) на основе частных прогнозов. В настоящее время систему практики прогнозирования землетрясений на Камчатке можно назвать наиболее развитой в нашей стране. Накопленный опыт работы и фактический архивный материал создает все предпосылки для развития этого направления.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чеброва А.Ю., Чемарёв А.С., Матвеев Е.А., Чебров Д.В.* Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 66–91.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 16 МАРТА 2021 Г. С $ML=6.6$ ВБЛИЗИ КРОНОЦКОГО ПОЛУОСТРОВА

¹Д.В. Чебров, к.ф.-м.н., ¹С.А. Тихонов, к.ф.-м.н., ¹И.Р. Абубакиров, к.ф.-м.н.,
¹Д.В. Дрознин, ¹С.Я. Дрознина, ²А.В. Ландер, ¹Е.А. Матвеев, к.ф.-м.н.,
¹С.В. Митюшкина, ¹В.М. Павлов, к.ф.-м.н., ¹В.А. Салтыков, д.ф.-м.н.,
¹С.Л. Сениуков, к.г.-м.н., ¹Ю.К. Серафимова
¹КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский
²ИТПЗ РАН, г. Москва

Представлены первые результаты комплексных исследований сильного сейсмического события с $ML=6.6$ ($K_S=14.6$, $M_C=7.1$), произошедшего 16 марта 2021 г. в 18^h38^m в Тихом океане напротив мыса Козлова (Кроноцкий полуостров). Для данного землетрясения собраны макросейсмические сведения, выполнены расчеты пиковых ускорений грунта и тензора сейсмического момента, кратко рассмотрены форшоковый и афтершоковый процессы, обобщены данные о предвестниках и описана тектоническая позиция очага.

С 16 марта по 14 апреля 2021 г. в радиусе 40 км от эпицентра землетрясения 16.03.2021 г. зарегистрирован 761 афтершок с энергетическими классами в диапазоне $5.4 \leq K_S \leq 12.4$. На фоне не затихающей сейсмической активности в Тихом океане, 19 марта в 03^h16^m произошло еще одно землетрясение с $ML=5.3$ ($K_S=12.0$, $M_C=5.9$) в районе хребта Тумрок, спровоцировавшее более многочисленную афтершоковую последовательность. Его гипоцентр определен на глубине ~9 км, в ~11 км к северо-востоку от Тумроковских (Верхне-Щапинских) источников, расположенных у подножья вулкана Кизимен. С 19 марта по 14 апреля 2021 г. в радиусе 15 км от данного эпицентра зафиксировано 2337 афтершоков с классами в диапазоне $2.2 \leq K_S \leq 10.1$.

Впервые для оперативной оценки развития афтершоковых процессов в условиях большой плотности землетрясений применялась процедура автоматического детектирования, в результате работы которой создан стационарный бюллетень, включающий время и энергетическую оценку всех событий, зарегистрированных выбранной станцией. Это позволило получить более полную информацию о характере развития афтершокового процесса, сейсмической активности района и региона в целом. Соответствующая процедура встроена в программу обработки DIMAS [1].

В Камчатском крае землетрясение 16 марта 2021 г. ощущалось с интенсивностью от 1–2 до 5 баллов в 18 населенных пунктах, расположенных на восточном побережье полуострова, в районе Центральной Камчатской депрессии и на о. Беринга ($\Delta=141$ – 386 км). Самые сильные сотрясения 5 баллов были зафиксированы в ближайшем населенном пункте – на кордоне Кроноки ($\Delta=141$ км). В г. Петропавловске-Камчатском ($\Delta=357$ км) интенсивность землетрясения составляла 3 балла.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – № 3 (46). – С. 22–34.

К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ РАЙОНА СЕВЕРОМУЙСКОГО ТОННЕЛЯ ТРАССЫ БАМ

¹В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н., ²В.А. Саньков, к.г.-м.н.,

^{2,3}А.А. Добрынина, к.ф.-м.н.

¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

²ИЗК СО РАН, г. Иркутск

³ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

В связи с намечаемой модернизацией Северомуйского тоннеля (прокладкой второго пути) вопрос о прогнозе сейсмических воздействий на тоннель становится исключительно актуальным. Северомуйский тоннель располагается в пределах Верхнеангарско-Муйской перемычки в зоне с уровнем сейсмичности 9 баллов по картам ОСР-2015 (А, В) и 10 баллов – по карте ОСР-2015 (С) с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями.

Верхнеангарско-Муйская перемычка характеризуется высокой тектонической раздробленностью. Здесь выделяются несколько активных разломов северо-восточного простирания со следами голоценового сейсмогенного обновления. Так, разрывы сейсмодислокации Итыкит, возникшей при палеоземлетрясении с магнитудой 7.0, зафиксированы в четвертичных осадках непосредственно над Северомуйским тоннелем. Ковоктинская, Янчуканская, Верхнеянчуканская и Муяканская сейсмодислокации располагаются всего в нескольких десятках километров от сооружений тоннеля. Зоны тектонитов, представленных гидротермально измененными катаклазитами, которые были встречены при проходке тоннеля, достигают мощности сотен метров.

Фактическим материалом для уточнения прогноза параметров сейсмических воздействий (пиковых значений амплитуд ускорений PGA и скоростей PGV) послужили цифровые записи землетрясений с энергетическими классами $K=9.4-14.3$ на эпицентральных расстояниях $\Delta=11-139$ км, полученные на сейсмической станции «Северомуйск» в 2002–2019 гг., а также на временных сейсмостанциях, установленных непосредственно в основном Северомуйском тоннеле и в двух обходных тоннелях в январе 2015 года. За относительно небольшой период регистрации (полтора месяца) удалось получить записи землетрясений с очагами, близкими к тоннелю ($\Delta=10-30$ км, $K=9.6-13.3$). По данным сектора сводной обработки БФ ФИЦ ЕГС РАН, эпицентры этих землетрясений приурочены к Муяканскому хребту, а очаги большинства из них расположены на малых глубинах 5–8 км [1].

По результатам обработки записей землетрясений разными методами определены значения добротности, получены зависимости PGA и PGV от эпицентрального расстояния и энергетического класса землетрясения. Сделаны прогнозные оценки пиковых амплитуд ускорений и пиковых скоростей колебаний грунта, и получен набор синтетических акселерограмм при сильных близких землетрясениях. Это позволило уточнить сделанные ранее прогнозные оценки сейсмической опасности Северомуйского тоннеля.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гилёва Н.А., Хритова М.А., Хамидулина О.А. Результаты локализации землетрясений Муяканской последовательности 2014–2015 гг. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 86–90.

ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ ГЕНЕРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА "DRUMBEATS" ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО СКЛОНУ ВЯЗКИХ ЛАВОВЫХ ПОТОКОВ НА ПРИМЕРЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА КИЗИМЕН В СЕНТЯБРЕ 2011 Г.

¹А.А. Шакирова, ¹П.П. Фирстов, д.ф.-м.н., ²М.В. Лемзиков
¹КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский
²ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Режим "drumbeats" – необычный сейсмический режим, состоящий из вулканических землетрясений с однообразными волновыми формами (мультиплеты), которые регистрируются от десятков минут до месяцев. За квазирегулярность возникновения землетрясений режим и получил название "drumbeats" (барабанный бой) [1]. Он регистрируется при выжимании отдельных блоков на экстрезивных куполах андезитовых и дацитовых вулканов мира и возникает при устойчивых равновесных состояниях в системе канал–магма во время извержения. Режим "drumbeats" регистрировался при извержении вулкана Кизимен в 2010–2013 гг. во время выжимания вязкого лавового потока объемом 0.3 км^3 [2]. Его движение сопровождалось мультиплетами вулканических землетрясений (ВЗ) с энергетическими классами $K_s < 6.3$, которые регистрировались непрерывно от десятков минут до месяцев [3].

В июле–октябре 2011 г. регистрировался мультиплет сравнительно сильных ВЗ (около 200 тыс.) с $K_s = 4.0–6.2$. Их эпицентры локализовались вблизи контура лавового потока с глубиной очага $1.4 \pm 0.5 \text{ км}$ н.у.м. Определены механизмы 60 ВЗ, которые представлены сбросо-взбросовыми и сдвиговыми подвижками в очаге. Угол падения плоскости разрыва заключен в пределах $60–70^\circ$, а ее простираение близко к волновым структурам лавового потока, выделенным на аэроснимках. Вычисленное смещение подвижки во время одного землетрясения составило $L = 3.1 \text{ см}$. Исходя из общего количества ВЗ, зарегистрированных в период 1–7 августа 2011 г., смещение лавового потока оценивается в 354 м , что удовлетворительно совпадает со смещением поверхности потока за этот же период, равным 370 м , согласно натурным наблюдениям [2]. По-видимому, движение ядра лавового потока происходит скачкообразно с квазирегулярной периодичностью по механизму "stick-slip", при этом генерируются ВЗ. Возникновение мультиплетов можно объяснить стационарностью поступления лавы на ограниченных временных участках.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Iverson M.R., Dzurisin D., Gardner C.A., et al.* Dynamics of seismogenetic volcanic extrusion at Mount St Helens in 2004–2005 // *Nature*. – 2006. – V. 444. – P. 439–443. doi: 10.1038/nature05322
2. *Auer A., Belousov A., Belousova M.* Deposits, petrology and mechanism of the 2010–2013 eruption of Kizimen volcano in Kamchatka, Russia // *Bulletin of Volcanology*. – 2018. – V. 80, N 4. – P. 33. doi: 10.1007/s00445-018-1199-z
3. *Фирстов П.П., Шакирова А.А.* Особенности сейсмичности в период подготовки и в процессе извержения вулкана Кизимен (Камчатка) в 2009–2013 гг. // *Вулканология и сейсмология*. – 2014. – № 4. – С. 3–20.

НАВЕДЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В ГОРЛОВСКОМ УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ. КОЛЫВАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В СТРУКТУРЕ ТЕХНОГЕННОЙ АКТИВИЗАЦИИ

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

В районе Новосибирска Колывань-Томская складчатая область стыкуется с Салаиром и Горловской впадиной [1–4]. Горловский угольный бассейн – это узкая впадина 1.5÷7.5 км шириной и около 120 км длиной. По данным инструментального периода регистрации, до 2011 г. в Горловском бассейне было зафиксировано только одно сейсмическое событие. Горловское месторождение угля стало интенсивно разрабатываться в последнее десятилетие, и после 2010 г. начала формироваться сейсмическая активизация недр Горловской впадины как ответ на техногенное воздействие [5].

За три года (с 2017 по 2019 г.) произошли три землетрясения с магнитудами ~4, их очаги локализовались вблизи разрезов с интенсивной добычей угля. «Колыванское» (по названию угольного разреза Горловского угольного бассейна) землетрясение 09.01.2019 г. с $M=4.3$, крупнейшее из них, оказало ощутимое воздействие на населенные пункты, включая Новосибирск. Землетрясение уверенно регистрировалось сейсмостанциями России и сейсмологическими сетями других стран.

Наблюдение за сейсмическим процессом в районе Горловского месторождения осуществляет сеть временных сейсмических станций: «Харино» (KHAR), «Елбаши» (KLV01) и «Усть-Чём» (KLV02). Станции передают информацию в центр обработки в режиме, близком к реальному времени, их данные обрабатываются совместно с данными станций сети Алтае-Саянской горной области.

Выявлены две особенности Колыванского землетрясения: 1 – волны от землетрясения зарегистрированы на удалениях в тысячи километров, а колебания дневной поверхности в баллах ниже, чем рассчитанные по макросейсмическому уравнению для данного региона; 2 – почти отсутствуют землетрясения с малыми энергиями (коэффициент угла наклона графика повторяемости –0.44). Причина аномального наклона графика повторяемости и отличий реальных данных о сотрясаемости территории от расчетных по макросейсмическому уравнению может быть одна и та же. Это физическое состояние пород.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетехтина О.А., Горелова С.Г., Дрягина Л.Л., Данилов В.И., Батяева С.П., Токарева П.А. Верхний палеозой Ангариды. Фауна и флора. – Новосибирск: Наука, 1988. – 265 с.
2. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Т. 1. Геологическое строение / Под ред. А.В. Каньгина и В.Г. Свиридова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 228 с.
3. Росляков Н.А., Щербаков Ю.Г., Алабин Л.А., Нестеренко Г.В., Калинин Ю.А., Рослякова Н.В., Васильев И.П., Неволько А.И., Осинцев С.Р. Минералогия области сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 243 с.
4. Сотников В.И., Федосеев Г.С., Кунгурцев Л.В., Борисенко А.С., Оболенский А.А., Васильев И.П., Гимон В.О. Геодинамика, магматизм и металлогения Колывань-Томской складчатой зоны. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 227 с.
5. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Ворона У.Ю., Серёжников Н.А. Сейсмический эффект промышленных взрывов в Западной Сибири и наведенная сейсмичность. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 45, № 4. – С. 63–79.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕЙСМОГЕННОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЧИЛИЙСКОЙ ЗОНЫ СУБДУКЦИИ В НАЧАЛЕ XXI В.

¹Н.С. Щевьёва, ^{1,2}И.С. Владимирова, к.ф.-м.н.,
^{1,2}Ю.В. Габсатаров, к.ф.-м.н.
¹МФТИ, г. Долгопрудный
²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

Побережье Чили входит в число наиболее сейсмически и тектонически активных регионов на периферии Тихого океана. За предыдущее десятилетие в центральной и северной частях Чили произошло три сильных цунамигенных землетрясения: землетрясение Мауле 27 февраля 2010 г. ($M_w=8.8$), землетрясение Икике 1 апреля 2014 г. ($M_w=8.1$) и землетрясение Ильяпель 16 сентября 2015 г. ($M_w=8.3$) [1].

Механизмы очагов всех указанных выше землетрясений представляют собой пологий надвиг с падением в сторону континента, что соответствует условиям сжатия, типичным для конвергентной границы литосферных плит. В пределах очагов исследуемых землетрясений и прежде реализовывались столь же сильные сейсмические события, причем периоды их повторяемости варьируют от 63 до 175 лет.

Для оценки геометрических параметров очаговых областей исследуемых событий выполнена идентификация их афтершоков с использованием кластерного метода [2]. На основе данных спутниковой геодезии построены модели очагов землетрясений Мауле 2010 г., Икике 2014 г. и Ильяпель 2015 года. Полученные распределения подвижек по разрыву являются результатом решения обратной задачи, сводящейся к минимизации невязок между измеренными спутниковыми методами и смоделированными косейсмическими смещениями. Для численного моделирования статических смещений земной поверхности используется радиально неоднородное распределение упругих модулей в коре и верхней мантии, задаваемое моделью PREM [3]. Для событий 2010 и 2015 гг. отмечается билатеральное развитие сейсморазрывов итоговой протяженностью 600 и 250 км соответственно. Отличительной особенностью события 2014 г. является преимущественно однонаправленное распространение разрыва, длина которого составила менее 200 км вместо ожидаемых 600 км. Величины максимальных смещений в очагах во всех трех случаях лежат в пределах от 8 до 12 м.

Проведенное исследование позволяет сделать выводы о неравномерности развития сейсмического режима во времени в пределах Чилийской зоны субдукции в целом. Выявленные особенности распределения подвижек в очагах свидетельствуют о возможных структурных неоднородностях Чилийской зоны субдукции. Установлено общее согласие полученных параметров очагов землетрясений с особенностями геолого-тектонического строения региона.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 и при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-17-00140).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ruiz S.A., Madariaga R.* Historical and recent large megathrust earthquakes in Chile // *Tectonophysics*. – 2018. – V. 733. – P. 37–56.
2. *Смирнов В.Б.* Прогностические аномалии сейсмического режима. I. Методические основы подготовки исходных данных // *Геофизические исследования*. – 2009. – Т. 10, № 2. – С. 7–22.
3. *Dziewonski A.M., Anderson D.L.* Preliminary reference Earth model // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 1981. – V. 25. – P. 297–356.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СФ ФИЦ ЕГС РАН

¹М.А. Щукин, ^{1,2}Д.В. Костылев
¹СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск
²ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Информационная система (ИС) – это организованная система для сбора, организации, хранения и доступа к информации. В зависимости от вида информационной система может иметь разный набор компонентов [1].

С начала перехода в 2009 г. к цифровой регистрации [2] работа по систематизации сейсмологического материала в Сахалинском филиале ГС РАН проводилась в ограниченном объеме: сохранялись лишь цифровые записи волновых форм отдельных сейсмических событий, результаты обработки сейсмических событий были отражены только в виде ежегодных каталогов. Таким образом, к 2012 г. остро встал вопрос о создании полноценного и удобного для широкого использования банка сейсмологических данных. В 2013 г. был разработан первый вариант такого банка в составе информационной системы, получившей название «Мониторинг сейсмичности Дальневосточного региона» [3]. Впоследствии эта система развивалась, и от нее требовалось решение новых задач:

- рассылка оповещений о сейсмических событиях по почте;
- автоматическое формирование сообщений в формате MSK-85;
- расширенные запросы и построение карт, формирование отчетов;
- мониторинг событий, занесенных в БД в режиме, близком к реальному времени.

Для решения этих задач был разработан комплекс ПО, который был разбит на несколько категорий:

- *ПО для работы с необработанными данными.* Оно отвечает за долгосрочное хранение волновых форм;
- *«Обработчики событий».* Это ПО обрабатывает файлы *.ssd, выполненные в программе DIMAS [4], заносит информацию в БД и проводит дополнительную обработку занесенной информации (например, рассылку по адресатам);
- *ПО предоставления данных.* Оно отвечает за запрос и предоставление данных пользователю в требуемом виде. Это могут быть таблицы, карты или отчеты;
- *ПО форматирования.* Набор ПО, отвечающего за конвертацию форматов данных, используемых внутри информационной системы и за ее пределами.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Davis W.S., Yen D.C.* The information system consultant's handbook: Systems analysis and design. – Boca Raton: CRC Press, 1999. – 800 p. doi: 10.1201/9781420049107
3. *Щукин М.А., Семенова Е.П., Левин Ю.Н.* Создание в Сахалинском филиале ГС РАН базы сейсмологических данных «Мониторинг сейсмичности Дальневосточного региона» // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всероссийская научная конференция с международным участием, Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 г.: сборник материалов. В 2-х томах. Т. 2 / Под ред. Б.В. Левина, О.Н. Лихачевой. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – С. 461–463.
2. *Костылев Д.В.* Формирование единой системы сбора сейсмологической информации в Сахалинском филиале ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 41–53. doi: 10.35540/2686-7907.2021.1.03
4. *Дрознин Д.В., Дрознина С.Я.* Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ НАЗВАНИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ

Краткое название организации	Полное название организации	Город
<i>Зарубежные организации</i>		
ИГИС НАН РА	Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова Национальной академии наук Республики Армения	г. Ереван, г. Гюмри, Республика Армения
ИГССС НАНТ	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана	г. Душанбе, Республика Таджикистан
ИОНХ НАН РА	Институт общей и неорганической химии им. М. Манвеляна	г. Ереван, Республика Армения
ИС АН РУз	Институт сейсмологии имени Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан	г. Ташкент, Республика Узбекистан
<i>Российские организации</i>		
ФИЦ ЕГС РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Обнинск
АСФ ФИЦ ЕГС РАН	Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск
БФ ФИЦ ЕГС РАН	Байкальский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Иркутск
БуФ ФИЦ ЕГС РАН	Бурятский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Улан-Удэ
ДФ ФИЦ ЕГС РАН	Дагестанский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Махачкала
КФ ФИЦ ЕГС РАН	Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Петропавловск-Камчатский
КоФ ФИЦ ЕГС РАН	Кольский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Апатиты

Краткое название организации	Полное название организации	Город
МФ ФИЦ ЕГС РАН	Магаданский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Магадан
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН	Сейсмологический филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Новосибирск
СФ ФИЦ ЕГС РАН	Сахалинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Южно-Сахалинск
СОФ ФИЦ ЕГС РАН	Северо-Осетинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»	г. Владикавказ
АБ «ТРИРУКИ»	Архитектурное бюро «ТРИРУКИ»	г. Магадан
АН РС(Я)	Государственное учреждение Академия наук Республики Саха (Якутия)	г. Якутск
АО «СНИИГГиМС»	Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья»	г. Новосибирск
ГАУ «КРЦ»	Государственное автономное учреждение «Крымский республиканский центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства»	г. Симферополь
«ГИ УрО РАН»	«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук	г. Пермь
ГИН СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук	г. Улан-Удэ
ГПКК «КНИИГГиМС»	Государственное предприятие Красноярского края «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья»	г. Красноярск
ИВиС ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Петропавловск-Камчатский
ИВМиМГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИГ КарНЦ РАН	Институт геологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»	г. Петрозаводск

Краткое название организации	Полное название организации	Город
ИЗК СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук	г. Иркутск
ИЛФ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИМГиГ ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Южно-Сахалинск
ИНГГ СО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук	г. Новосибирск
ИТПЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук	г. Москва
ИФЗ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. Шмидта О.Ю. Российской академии наук	г. Москва
Кировский филиал АО «Апатит»	Кировский филиал акционерного общества «Апатит» группы «ФосАгро»	г. Кировск
МФТИ	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»	г. Долгопрудный
ООО «ЭКСПАС»	Общество с ограниченной ответственностью «ЭКСПАС»	г. Новосибирск
ОФИЦ УрО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук	г. Оренбург
РГУ нефти и газа (НИУ) имени Губкина И.М.	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени Губкина И.М.»	г. Москва
СВГУ	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный государственный университет»	г. Магадан
СВКНИИ ДВО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук	г. Магадан
ТИ (ф) СВФУ	Технический институт (филиал) федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри	г. Нерюнгри

Краткое название организации	Полное название организации	Город
ФГБОУ ВО «ВГУ»	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»	г. Воронеж
ФГБОУ ВО «НГИИ»	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Норильский государственный индустриальный университет»	г. Норильск
ФГБУ «ВСЕГЕИ»	Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»	г. Санкт-Петербург
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук	г. Архангельск
ФГУП «ГХК»	Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно-химический комбинат»	г. Железногорск

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абубакиров Искандер Радиевич

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

Аветисян Андрей Мергевосович

д-р физ.-мат. наук, профессор,
вед. науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
avet.andrey@mail.ru

Адилов Зарахман Ашуралиевич

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

Алексеев Дмитрий Александрович

канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр. МФТИ,
г. Долгопрудный;
ст. науч. сотр. ИО РАН;
науч. сотр. ИФЗ РАН,
г. Москва
alexeevgeo@gmail.com

Алёшина Евгения Ильинична

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

Алимухамедов Илхом Мизратович

канд. геол.-мин. наук,
ст. науч. сотр.
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
hamidov_l@mail.ru

Анварова Садокат Гайратовна

вед. инженер
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
hayrulla_classic@mail.ru

Антонов Илья Александрович

нач. сектора
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
antonov@gs.sbras.ru

Арапов Виктор Владимирович

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

Артёмова Анна Игоревна

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

Артиков Фарход Рустамович

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

Арутюнян Левон Вартанович

канд. геол. наук, зав. лаб.
ИОНХ НАН РА,
г. Ереван, Армения
levonharutyunyan25@rambler.ru

Асманов Осман Абдуллаевич

канд. физ.-мат. наук, зав. отд.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
asekovaz@bk.ru

Асминг Владимир Эрнестович

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

Ассиновская Бэла Александровна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
assinovskaya@plkv.gsras.ru

Атрохин Владимир Владимирович

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

Ахмедова Мадина Магомедовна

инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
akhmedik89@yandex.ru

Бабкова Елена Алексеевна

вед. инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
babkova@gsras.ru

Бабушкин Сергей Михайлович

зам. директора
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
bab@gs.sbras.ru

Багаева Софья Сергеевна
зам. директора-нач. сектора
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
sonybag@yandex.ru

Бакунович Любовь Игоревна
ст. инженер-геофизик
ИГ КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск
luba5_89@mail.ru

Баль Владимир Вячеславович
архитектор, руководитель
АБ «ТРИРУКИ»;
ст. преподаватель СВГУ,
г. Магадан
bal@triruki.pro

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

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

Бах Александр Александрович
ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
abakh61@mail.ru

Бахтиарова Галия Маратовна
инженер I кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
galiya-bakh@yandex.ru

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

Боровик Сергей Борисович
и.о. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
geospektr@yandex.ru

Брыксин Алексей Александрович
ст. науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
fater.gs@gmail.com

Будеева Наталья Валентиновна
инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
bnv@gsras.ru

Будилова Екатерина Андреевна
инженер-исследователь
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
budilova@emsd.ru

Букчин Борис Григорьевич
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИТПЗ РАН,
г. Москва
bukchin@mitp.ru

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

Бутырин Павел Генрихович
канд. техн. наук,
ст. науч. сотр., зав. отд.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
ст. науч. сотр.
«ГИ УрО РАН»,
г. Пермь
pbg2000@mail.ru

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

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

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

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

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

Габсатаров Юрий Владимирович

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

Габсатарова Ирина Петровна

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

Гайдай Наталия Константиновна

канд. геол.-мин. наук, доцент,
директор ПИ СВГУ;
ст. науч. сотр.
СВКНИИ ДВО РАН,
г. Магадан
nataly_mag@rambler.ru

Галёва Наталья Александровна

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

Ганиева Барно Рустамовна

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

Герман Виктор Иванович

канд. техн. наук, доцент, гл. сейсмолог
КНИИГиМС,
г. Красноярск;
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск
german3v@yandex.ru

Герман Евгений Иванович

инженер
БуФ ФИЦ ЕГС РАН,
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
net-admin@list.ru

Гилёва Надежда Алексеевна

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

Гладышев Егор Андреевич

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

Горовой Сергей Владимирович

доцент ДВФУ,
г. Владивосток
GorovoySV@mail.ru

Горожанцев Сергей Владимирович

канд. геол.-мин. наук, нач. отд.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск;
науч. редактор
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
sgor@gsras.ru

Гриб Галина Владиславовна

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ТИ (ф) СВФУ,
г. Нерюнгри
grib@nfygu.ru

Гриб Николай Николаевич

д-р техн. наук, профессор,
зам. директора
ТИ (ф) СВФУ,
г. Нерюнгри;
гл. науч. сотр.
АН РС(Я),
г. Якутск
grib@nfygu.ru

Громыко Павел Владимирович

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

Гульельми Анатолий Владимирович

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

Дмитриева Изольда Юрьевна

вед. инженер
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
iza_ka@mail.ru

Добрынина Анна Александровна

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск;
мл. науч. сотр.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
dobrynina@crust.irk.ru

Долгих Владимир Петрович

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

Дрознин Дмитрий Валериевич

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

Дубров Дмитрий Владимирович

канд. техн. наук, доцент, ректор
ФГБОУ ВО «НГИИ»,
г. Норильск
dubrov@ngs.ru

Дуленцова Людмила Григорьевна

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
DylencovaL@gstras.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.,
зам. директора
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
dra@gstras.ru

Евтюгина Зинаида Анатольевна

канд. биол. наук, науч. сотр.
КоФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Апатиты
zina_evt@mail.ru

Ежова Ирина Трофимовна

инженер-геофизик
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж;
вед. инженер
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Елагин Семен Александрович

науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
maelstrom2006@gmail.com

Еманов Александр Федорович

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

Еманов Алексей Александрович

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

Ершов Ренат Альбертович

инженер-геофизик 1 кат.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
ershov@gs.sbras.ru

Ефременко Марина Алексеевна

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

Жмудь Вадим Аркадиевич

д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
oao_nips@bk.ru

Завьялов Алексей Дмитриевич

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

Зверева Анастасия Сергеевна

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Пермь
Zvereva.as59@gmail.com

Золототрубова Элеонора Ивановна

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

Зотов Олег Дмитриевич

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
ozotov@inbox.ru

Зуева Ирина Александровна

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

Ибрагимов Фахриёр Исмоил ўгли

стажер-исследователь
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
hayrulla_classic@mail.ru

Исаев Мямма Абдулгалимович

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

Казарян Карлен Суменович

канд. физ.-мат. наук, зав. лаб., науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Гюмри, Армения
g.karlen90@bk.ru

Калинников Игорь Иванович
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
i-kalinn@yandex.ru

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

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

Кашубина Татьяна Викторовна
вед. геофизик
ФГБУ «ВСЕГЕИ»,
г. Санкт-Петербург
Tatiana_Kashubina@vsegei.ru

Климов Кирилл Владимирович
инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
klimov@gsras.ru

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

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

Коковкин Иван Васильевич
инженер-геофизик
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
titanoks1@yandex.ru

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

Корабельщиков Дмитрий Геннадьевич
гл. инженер
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
korabel@gs.sbras.ru

Королева Татьяна Юрьевна
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
t.koroleva@plkv.gsras.ru

Королецки Людмила Николаевна
вед. инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
korol@gsras.ru

Костылев Дмитрий Викторович
нач. отд.
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
kostylev@seismo.sakhalin.ru;
науч. сотр.
ИМГиГ ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск
d.kostylev@imgg.ru

Кречетов Дмитрий Владимирович
науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
krechet1@bk.ru

Кульчицкий Валерий Евгеньевич
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ГАУ «КРЦ»,
г. Симферополь
kulchiczki00@mail.ru

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

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

Ландер Александр Викторович
ст. науч. сотр.
ИТПЗ РАН,
г. Москва
land@mitp.ru

Лебедев Артем Анатольевич
ст. инженер-геофизик
ИГ КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск
stayxalert@gmail.com

Левина Валерия Ивановна
ст. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
vlr.levina@gmail.com

Лемзиков Михаил Владимирович
мл. науч. сотр.
ИВиС ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
lemzikov@kscnet.ru

Лисейкин Алексей Владимирович
канд. геол.-мин. наук, директор
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
lexik1979@mail.ru

Лисунов Евгений Витальевич
мл. науч. сотр.
РИОЦ «Владивосток»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владивосток
lisunov.evgeniy@gmail.com

Лобковский Леопольд Исаевич
академик РАН, профессор,
зав. лаб. МФТИ,
г. Долгопрудный;
науч. рук. Геологического
направления, зав. лаб.
ИО РАН, г. Москва
llobkovsky@ocean.ru

Магомед-Касумов
Магомедрасул Грозбекович
канд. физ.-мат. наук, зам. директора
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
rasuldev@gmail.com

Магомедов Хаскил Джарулаевич
директор
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
haskil@dbgsras.ru

Матвеев Евгений Евгеньевич
вед. инженер
ФГУП «ГХК»,
г. Железнодорожск
matveev@mcc.krasnoyarsk.su

Матвеев Евгений Александрович
канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр., зав. лаб.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
van@mail.ru

Мещерякова Вера Александровна
мл. науч. сотр.
ИГ КарНЦ РАН,
г. Петрозаводск
v.meshera@list.ru

Митюшкина Светлана Владимировна
науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
mitik@emsd.ru

Михеева Анна Владленовна
канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.
ИВМиМГ СО РАН,
г. Новосибирск
anna@omzg.sscs.ru

Морозов Алексей Николаевич
канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва;
вед. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
morozovalexey@yandex.ru

Моторин Александр Юрьевич
вед. геофизик
Кировского филиала «АО Апатит»,
г. Кировск
bars.vl@gmail.com

Муравьева Ксения Игоревна
магистрант
МФТИ,
г. Долгопрудный
muravieva.ki@phystech.edu

Муромцев Александр Николаевич
студент СВГУ,
г. Магадан
alexander.muromcev@gmail.com

Надёжка Людмила Ивановна
канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ФИЦ ЕГС РАН;
доцент
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж
nadezhka@geol.vsu.ru

Наумов Сергей Борисович
рук. с/с «Владивосток»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владивосток
revtrud@yandex.ru

Неведрова Нина Николаевна
д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
NevedrovaNN@ipgg.sbras.ru

Нестеренко Максим Юрьевич
д-р геол.-мин. наук, доцент,
зав. отделом геоэкологии
ОФИЦ УрО РАН,
г. Оренбург
n_mu@mail.ru

Очковская Марина Георгиевна
вед. инженер
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
kustova@crust.irk.ru

Павлов Виктор Михайлович
вед. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
pvm@emsd.ru

Панас Наталья Михайловна

инженер 1 кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Санкт-Петербург
natagold-86@inbox.ru

Панов Сергей Владимирович

ст. науч. сотр.
ИЛФ СО РАН,
г. Новосибирск
lss@laser.nsc.ru

Папкина Алина Александровна

нач. отд.
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
alalp@inbox.ru

Парушкин Михаил Дмитриевич

науч. сотр.
ИЛФ СО РАН,
г. Новосибирск
mihail.parushkin@yandex.ru

Пашаян Ромела Артаваздовна

канд. мин. наук, ст. науч. сотр.
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
romellapashayan@sci.am

Петрова Наталия Владимировна

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

Петухова Жанна Геннадьевна

д-р экон. наук, доцент, профессор
ФГБОУ ВО «НГИИ»,
г. Норильск
retret2011@mail.ru

Пивоваров Роман Сергеевич

инженер-исследователь
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
Q5000@mail.ru

Пивоваров Сергей Павлович

науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
serg@geophys.vsu.ru

Подкорытова Валентина Григорьевна

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

Полянский Павел Олегович

ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
ppavel6.10@gmail.com

Пономарев Петр Валерьевич

науч. сотр.
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
petruss@bk.ru

Пономарева Наталия Лаврентьевна

науч. сотр. - рук. с/с «Махачкала»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
NatalyMak@yandex.ru

Предеин Петр Алексеевич

инженер
БуФ ФИЦ ЕГС РАН,
ГИН СО РАН
г. Улан-Удэ
crmpeter@ginst.ru

Пустовитенко Бэлла Гавриловна

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ГАУ «КРЦ»,
г. Симферополь
bpustovitenko@mail.ru

Радзиминович Ян Борисович

канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр.
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск
ian@crust.irk.ru

Разин Андрей Владимирович

д-р физ.-мат. наук, науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
razav@inbox.ru

Рыбушкин Александр Юрьевич

зам. нач. отдела
АСФ ФИЦ ЕГС РАН;
вед. инженер
ООО «ЭКСПАС»,
г. Новосибирск
elrb@yandex.ru

Саидов Омар Абакарович

канд. геол.-мин. наук, зав. отд.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
omarsaidov1@yandex.ru

Саломов Нусрат Гафурович

канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.
ИГССС НАНТ,
г. Душанбе, Таджикистан
seismtdj@rambler.ru

Салтыков Вадим Александрович

д-р физ.-мат. наук,
гл. науч. сотр., зав. лаб.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
saltkam@mail.ru

Сальников Александр Сергеевич

д-р геол.-мин. наук, зав. отд.
АО «СНИИГГиМС»,
г. Новосибирск
assalnikov@mail.ru

Сальников Тимофей Александрович

нач. партии
АО «СНИИГГиМС»,
г. Новосибирск
seispr@sniiggims.ru

Санжиева Дарима Пурба-Доржиевна
инженер

БуФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Улан-Удэ;
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
gindarima@mail.ru

Саньков Владимир Анатольевич

канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.
ИЗК СО РАН,
г. Иркутск
sankov@crust.irk.ru

Сафонов Дмитрий Александрович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИМГиГ ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск;
программист
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
d.safonov@imgg.ru

Сафронич Игорь Николаевич

вед. инженер
ФГБОУ ВО «ВГУ»;
мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
igor@geophys.vsu.ru

Саяпина Анна Анатольевна

директор
СОФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владикавказ
perev-anna@yandex.ru

Сдельникова Ирина Александровна

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр., уч. секр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
sdelnikova@gstras.ru

Селезнев Виктор Сергеевич

д-р геол.-мин. наук, рук. науч. напр.
ФИЦ ЕГС РАН;
зам. директора
СЕФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
svs0428@mail.ru

Селиванова Елена Аркадьевна

инженер-геофизик I кат.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
seliv@gstras.ru

Семенов Александр Евгеньевич

мл. науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН;
мл. науч. сотр.
ФГБОУ ВО «ВГУ»,
г. Воронеж
Alexander.semenow@gmail.com

Семенова Елена Петровна

нач. с/с «Южно-Сахалинск»
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
semenova@seismo.sakhalin.ru

Сенюков Сергей Львович

канд. геол.-мин. наук,
вед. науч. сотр., зав. лаб.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
ssl@emsd.ru

Серафимова Юлия Константиновна

науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
yulka@emsd.ru

Серёжников Николай Александрович

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

Силкин Константин Юрьевич

канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж
const.silkin@yandex.ru

Скотников Дмитрий Викторович

инженер
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
skotnikov@gs.sbras.ru

Собисевич Алексей Леонидович

член-корреспондент РАН,
гл. науч. сотр., зав. лаб., зам. директора
ИФЗ РАН,
г. Москва
alex@ifz.ru

Соловьев Виктор Михайлович

канд. геол.-мин. наук,
зам. директора
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
solov@gs.sbras.ru

Соломонова Алина Павловна

инженер
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
Vadima_13@mail.ru

Стеблов Григорий Михайлович

д-р физ.-мат. наук, профессор РАН,
гл. науч. сотр.
ИФЗ РАН, г. Москва;
зав. сект.
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
steblov@ifz.ru

Суворов Владимир Дмитриевич

д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
suvorovvd@ipgg.sbras.ru

Султанахмедов Мурад Салихович

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

Таймазов Джамалудин Гаджиевич

канд. физ.-мат. наук, зав. отд., уч. секр.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
dtaim@dbgsras.ru

Терешкин Денис Олегович

вед. электроник
АСФ ФИЦ ЕГС РАН;
вед. инженер
ООО «ЭКСПАС»,
г. Новосибирск
denis@kasan.ws

Тимофеев Владимир Юрьевич

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
timofeevvy@ipgg.sbras.ru

Титов Евгений Максимович

мл. науч. сотр.
РИОЦ «Владивосток»
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Владивосток
tem7777@hotmail.com

Тихонов Сергей Александрович

канд. физ.-мат. наук, уч. секретарь
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
tsa@emsd.ru

Товмасын Кристина Гагиковна

инженер
ИГИС НАН РА,
г. Ереван, Армения
kristina.tovmasyan.2020@mail.ru

Тоцаков Сергей Юпитерович

сист. администратор
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
scyth@crust.irk.ru

Тубанов Цырен Алексеевич

канд. геол.-мин. наук, директор
БуФ ФИЦ ЕГС РАН;
зав. лаб.
ГИН СО РАН,
г. Улан-Удэ
geos@ginst.ru

Фатеев Александр Владимирович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН;
вед. инженер
ИНГГ СО РАН,
г. Новосибирск
fateev@gs.sbras.ru

Фатьянов Алексей Геннадьевич

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
ИВМиМГ СО РАН,
г. Новосибирск
fat@nmsf.sscs.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

Фирстов Павел Павлович

д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
firstov@emsd.ru

Фокина Татьяна Александровна

нач. отд.
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
fokina@seismo.sakhalin.ru

Фомин Юрий Николаевич

вед. инженер
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
fominy@mail.ru

Фомочкина Анастасия Сергеевна

канд. техн. наук, доцент
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени Губкина И.М.;
ст. науч. сотр.
ИТПЗ РАН, г. Москва
nastja_f@bk.ru

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич

д-р физ.-мат. наук, зав. лаб.
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
hamidov_l@mail.ru

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич

PhD по техн. наукам,
ст. науч. сотр.
ИС АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан
hayrulla_classic@mail.ru

Хасанов Ибрагим Мубаракович

канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр.
СВКНИИ ДВО РАН;
доцент СВГУ,
г. Магадан
aumaglan@yandex.ru

Хритова Мария Анатольевна

канд. техн. наук, нач. сект.
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
hritova@crust.irk.ru

Хряпина Анна Ивановна

инженер
ФИЦ ЕГС РАН,
г. Обнинск
kozlova@gstras.ru

Цыдыпова Лариса Ринчиновна

канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
ГИН СО РАН;
науч. сотр.
БуФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Улан-Удэ
tsydyanova@ginst.ru

Чебров Данила Викторович

канд. физ.-мат. наук, директор
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
danila@emsd.ru

Чечельницкий Владимир Васильевич

канд. геол.-мин. наук, зам. директора
БФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Иркутск
chchel@crust.irk.ru

Шакирова Александра Альбертовна

мл. науч. сотр.
КФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
shaki@emsd.ru

Шарапудинов Тимур Идрисович

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ДФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Махачкала
sharapudinov@gmail.com

Шебалин Петр Николаевич

член-корреспондент РАН,
д-р физ.-мат. наук, директор
ИТПЗ РАН,
г. Москва
p.n.shebalin@gmail.com

Шеболтасов Алексей Геннадьевич

мл. науч. сотр.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
lexsheb@mail.ru

Шевкунова Елена Викторовна

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

Шемелева Ирина Борисовна

ст. науч. сотр.
ИФЗ РАН,
г. Москва
shemelevs@mail.ru

Щевьёва Надежда Сергеевна

магистрант
МФТИ,
г. Долгопрудный
nadezda.shchevyeva@yandex.ru

Щукин Михаил Анатольевич

вед. программист
СФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Южно-Сахалинск
vgcat.zero@gmail.com

Эреджепов Энвер Эльдарович

мл. науч. сотр.
ГАУ «КРЦ»,
г. Симферополь
eredzhepov@mail.ru

Янкайтис Виктор Викторович

нач. отд.
АСФ ФИЦ ЕГС РАН,
г. Новосибирск
victor@gs.sbras.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Е.И. Алёшина, Л.И. Карпенко, С.В. Курткин. Исследование региональной сейсмичности участков основных сооружений Колымской ГЭС	3
Ф.Р. Артиков, Л.А. Хамидов, И.М. Алимухамедов, Б.Р. Ганиева. Перераспределения внутренних напряжений земной коры от эксплуатации крупных водохранилищ	4
О.А. Асманов, З.А. Адилов. Макросейсмические проявления Буйнакского землетрясения 24 мая 2019 г.	5
В.Э. Асминг. Система мониторинга сейсмичности Хибинского горного массива LORS2	6
В.В. Атрохин, Е.И. Алёшина, Л.И. Карпенко, С.В. Курткин. Особенности сейсмотектоники района основных сооружений Усть-Среднеканской ГЭС	7
С.М. Бабушкин, А.Ю. Рыбушкин, Д.О. Терешкин, Н.Н. Неведрова. Измерительный модуль для электромагнитных исследований	8
С.С. Багаева, И.Ю. Дмитриева, А.А. Саяпина. Джейрахское землетрясение 24 мая 2020 г. с $K_p=10.6$ в Республике Ингушетии	9
С.С. Багаева, А.А. Саяпина, И.Ю. Дмитриева, С.В. Горожанцев. Исследование слабых роевых последовательностей землетрясений в районе вулкана Эльбрус в 2018 г.	10
В.В. Баль, Н.К. Гайдай, А.Н. Муромцев. Применение облегченных ограждающих конструкций в сейсмических условиях г. Магадана	11
С.В. Баранов, А.Ю. Моторин, П.Н. Шебалин. О пространственном распределении постсейсмической активности в Хибинском массиве	12
Т.Б. Батыров, М.А. Исаев. Сейсмичность Дагестана в 2019 г.	13
А.А. Бах, А.Ф. Еманов, А.Г. Шеболтасов, В.В. Янкайтис, Н.А. Серёжников. Крутильные и вертикальные собственные колебания зданий по данным метода стоячих волн	14
А.А. Брыксин. Развитие сети мобильных сейсмических станций, работающих в режиме реального времени	15
В.Ю. Бурмин, И.Б. Шемелева, А.М. Аветисян, К.С. Казарян. Пространственное распределение землетрясений Кавказа	16
П.Г. Бутырин, Ф.Г. Верхоланцев. Интеграция регистратора «Ермак-5» в региональные сети сейсмологического мониторинга	17
П.Г. Бутырин, А.И. Хряпина, К.В. Климов. Единая информационная система универсального доступа к сейсмологическим данным: концепция и пути разработки	18
Ю.А. Виноградов, С.Б. Боровик. Классификация сейсмических событий в Арктике	19
И.С. Владимирова, Ю.В. Габсатаров. Изучение особенностей формирования и развития очаговой зоны землетрясения Тохоку 2011 г. на основе данных спутниковой геодезии	20
И.С. Владимирова, Ю.В. Габсатаров, Д.А. Алексеев, Л.И. Лобковский. Влияние разломно-блоковой структуры континентальной окраины на сейсмический процесс в субдукционных регионах	21
Ю.В. Габсатаров, И.С. Владимирова. Построение двухзвенной клавишно-блоковой модели сейсмического цикла в Курильской зоне субдукции	22
Ю.В. Габсатаров, И.С. Владимирова, Г.М. Стеблов, К.И. Муравьева. Идентификация деформаций земной поверхности, вызванных различными геодинамическими процессами в Курило-Камчатской субдукционной зоне	23
И.П. Габсатарова, Е.А. Бабкова, Л.Н. Королецки, Е.А. Селиванова. Интерпретация данных о редких землетрясениях в Азовском и Чёрном морях	24

В.И. Герман. Распределения пространственных и временных характеристик структуры сейсмичности	25
В.И. Герман. Связь магнитуд и энергетического класса для Алтае-Саянской складчатой области	26
Е.И. Герман, Ц.А. Тубанов, Д.П.-Д. Санжиева. Пространственно-временное группирование землетрясений в центральной части Байкальского рифта	27
Е.А. Гладышев, А.В. Дураченко, Е.В. Шевкунова, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, Д.Г. Корабельщиков, В.Г. Подкорытова, И.А. Антонов. Взрывы боеприпасов около г. Ачинска, и динамические характеристики возбуждаемых волновых полей	28
С.В. Горовой, С.Б. Наумов. Взаимно-корреляционные функции сейсмических сигналов землетрясения 25 марта 2020 г. вблизи Курильской гряды	29
Н.Н. Гриб, В.С. Имаев, Г.В. Гриб. Изменение уровня сейсмической активности в Южной Якутии под воздействием промышленных взрывов	30
П.В. Громыко. О способе мониторинга состояния вращательных механизмов по данным сейсмических наблюдений	31
И.Ю. Дмитриева, А.А. Саяпина, С.С. Багаева, С.В. Горожанцев. Верхне-Фиагдонское землетрясение 26 января 2020 г.	32
Р.А. Дягилев. Практические аспекты применения шкалы ШСИ-2017 при макросейсмических исследованиях	33
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, Е.Е. Матвеев, Е.В. Шевкунова, В.Г. Подкорытова, Н.А. Серёжников, Д.Г. Корабельщиков, С.А. Елагин, Е.А. Гладышев, И.А. Антонов, А.В. Дураченко, В.В. Янкайтис. Обработка данных локальной сейсмической группы для изучения сейсмических событий и шумов в районе г. Железногорска Красноярского края	34
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Шевкунова. Влияние крупных землетрясений на эволюцию сейсмичности Алтае-Саянской горной области	35
А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Шевкунова. Наведенная сейсмичность в Кузбассе	36
А.А. Еманов, Д.Г. Корабельщиков, И.А. Антонов, А.В. Дураченко, А.В. Фатеев, В.В. Янкайтис. Возможности сети станций Алтае-Саянской горной области	37
А.Ф. Еманов, А.А. Еманов. Алгоритмы обработки сейсмических волн для цифровой сейсмологии	38
А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, В.В. Чечельницкий, Е.В. Шевкунова, Я.Б. Радзиминович, А.В. Фатеев, Е.А. Кобелева, Е.А. Гладышев, В.В. Арапов, А.И. Артёмова, В.Г. Подкорытова. Хубсугульское землетрясение 11.01.2021 г. с $M_w=6.7$, $ML=6.9$	39
А.Ф. Еманов, В.М. Соловьев, Ж.Г. Петухова, Д.В. Дубров, А.А. Еманов, В.В. Янкайтис, П.О. Полянский, Р.А. Ершов, А.А. Бах, С.А. Елагин, Н.А. Серёжников, Д.В. Скотников. Геофизические исследования на аварийном резервуаре в г. Норильске	40
М.А. Ефременко, С.П. Пивоваров, К.Ю. Силкин. Основные признаки волновых полей, возбуждаемых промышленными взрывами на территории Воронежского кристаллического массива	41
В.А. Жмудь, С.В. Панов, М.Д. Парушкин, А.Ю. Рыбушкин, Д.О. Терешкин, В.Ю. Тимофеев, Ю.Н. Фомин. Двухканальный He-Ne лазерный деформограф	42
А.Д. Завьялов, О.Д. Зотов, А.В. Гульельми. Новый подход к определению размера очаговой зоны землетрясений	43
А.С. Зверева. Предварительные оценки стационарных поправок сети сейсмических станций Западного Кавказа	44
Ф.Х. Каримов, Н.Г. Саломов. Крип образца горной породы и модель подготовки тектонического землетрясения	45

И.В. Коковкин. О возможности удаленного мониторинга работы гидроагрегатов Новосибирской ГЭС	46
Г.Н. Копылова, Е.А. Будилова, В.А. Кобзев, В.П. Долгих. Геомагнитные наблюдения на КГО «Карымшина» в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН	47
Т.Ю. Королева. Карты распределения скоростей волн Релея на территории Кавказа	48
Л.Н. Королецки, А.С. Зверева, Н.В. Будеева, И.П. Габсатарова. Особенности сейсмичности Северного Кавказа в 2019–2020 гг.	49
Д.В. Кречетов. Мониторинг состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС по изменениям ее собственных частот по данным сейсмической станции «Черёмушки»	50
А.Д. Курова, Н.В. Петрова, В.И. Левина, Г.М. Бахтиарова. Разработка базы данных «Землетрясения Северной Евразии»	51
С.В. Курткин, Е.И. Алёшина, Б.М. Седов, Л.И. Карпенко. Сейсмическое микрорайонирование участков основных сооружений Колымской ГЭС	52
А.А. Лебедев, В.А. Мещерякова, И.А. Зуева, Л.И. Бакунович. Результаты регионального сейсмического мониторинга территории Карелии по данным за 2017–2019 гг.	53
А.В. Лисейкин, В.С. Селезнев, А.А. Брыксин, Д.В. Кречетов, И.В. Коковкин. Возможности речной сейсморазведки для изучения глубинного строения земной коры	54
Е.В. Лисунов, Е.М. Титов, С.В. Горожанцев. О результатах комплексных геофизических наблюдений за подземными ядерными взрывами на территории КНДР	55
Х.Д. Магомедов, З.А. Адилов. Регистрационные возможности локальной сейсмологической сети Филиала ПАО «РусГидро»–«Дагестанский филиал»	56
А.В. Михеева, И.И. Калинин. Крипекс-анализ процессов в очаговых зонах крупных землетрясений средствами GIS-ENDDB	57
А.Н. Морозов, Н.В. Ваганова. Слабая сейсмичность и скоростная структура зоны перехода «континент–океан» в Евразийской Арктике	58
А.Н. Морозов, Н.В. Ваганова, В.Э. Асминг, Л.Г. Дуленцова, З.А. Евтюгина. Уточнение параметров гипоцентров землетрясений, зарегистрированных в раннеинструментальный период	59
Л.И. Надёжка, Э.И. Золототрубова, И.Т. Ежова. Оценка степени влияния геолого-геофизических характеристик мест установки сейсмических станций на характер записей сейсмических событий	60
М.Ю. Нестеренко, В.С. Белов. Природная и техногенная сейсмическая активность Восточного Оренбуржья	61
М.Г. Очковская, Н.А. Гилёва, Я.Б. Радзиминович. Сейсмичность в пределах Байкальской природной территории за период цифровой регистрации	62
Н.М. Панас, Б.А. Ассиновская. Динамические параметры слабых землетрясений юго-восточного склона Балтийского щита	63
А.А. Папкина, Н.А. Гилёва. Сейсмический мониторинг Прибайкалья при афтершоковых и роевых последовательностях	64
М.Д. Парушкин, С.В. Панов, А.Ю. Рыбушкин, В.Ю. Тимофеев, Ю.Н. Фомин. Обзор лазерных деформографических данных, зарегистрированных в Байкальском регионе в период с 1994 по 2015 г.	65
Р.А. Пашаян, Л.В. Арутюнян, К.Г. Товмасын. Геофизический мониторинг геодинамического режима Центральной Армении.....	66
Н.В. Петрова, И.П. Габсатарова, А.Д. Курова. О влиянии глубины и расстояния на оценки магнитуд по поверхностным волнам	67

Н.В. Петрова, И.П. Габсатарова, Р.А. Дягилев. Особенности макросейсмического поля землетрясений в некоторых слабосейсмичных областях Северной Евразии	68
С.П. Пивоваров, М.А. Ефременко, Р.С. Пивоваров. Опыт практического применения шкалы <i>MS</i> для определения магнитуд техногенных сейсмических событий на территории Воронежского кристаллического массива	69
П.О. Полянский, А.Ф. Еманов, А.С. Сальников. Изучение строения земной коры с использованием динамического пересчета преломленных волн во временные разрезы и динамические годографы	70
П.В. Пономарев, Н.Н. Неведрова. Мониторинг полигона «Бельтир» в юго-западной части Чуйской впадины методами постоянного тока	71
Н.Л. Пономарева, М.М. Ахмедова. Современное состояние очаговой зоны Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г.	72
П.А. Предеин, А.А. Добрынина, Ц.А. Тубанов. Затухание объемных волн в центральной части Байкальского рифта: методы оценки и результаты	73
Б.Г. Пустовитенко, В.Е. Кульчицкий. К мониторингу сейсмичности северо-западной части Крыма	74
Б.Г. Пустовитенко, Э.Э. Эреджепов. Исследование спектральных свойств землетрясений Крыма по энергетическим спектрам	75
А.Ю. Рыбушкин, Д.О. Терешкин. Современные сейсмические станции серии «Байкал»	76
О.А. Саидов. О техногенной сейсмичности района водохранилища Чиркейской ГЭС (Дагестан)	77
Д.П.-Д. Санжиева, Ц.А. Тубанов, П.А. Предеин, А.А. Добрынина. Расчет очаговых параметров землетрясений Центрального Байкала	78
Д.А. Сафонов. Землетрясение 13 февраля 2020 г. с $M=6.9$, и поле тектонических напряжений в зоне промежуточных глубин	79
И.Н. Сафронич. Геофизическое представление модели микросейсмического фона	80
И.Н. Сафронич. Возможность использования модели микросейсмического фона для оценки корректности работы оборудования	81
А.А. Саяпина, С.С. Багаева, И.Ю. Дмитриева, С.В. Горожанцев. Проявление сейсмичности в зоне Владикавказского глубинного разлома по данным СОФ ФИЦ ЕГС РАН	82
А.А. Саяпина, С.С. Багаева, И.Ю. Дмитриева, С.В. Горожанцев. Сейсмологические исследования центральной части Северного Кавказа в 2020 г. по данным СОФ ФИЦ ЕГС РАН	83
И.А. Сдельникова, Г.М. Стеблов. Спутниковая геодезия в задачах сейсмологии	84
И.А. Сдельникова. Сейсмические деформации сильнейших субдукционных землетрясений по данным спутниковой геодезии	85
В.С. Селезнев, А.В. Лисейкин, В.М. Соловьев, П.В. Громыко. Использование техногенных шумов в сейсмологии	86
А.Е. Семенов. Геофизические поля и современная сейсмическая активность Воронежского кристаллического массива	87
Н.А. Серёжников, Е.В. Шевкунова, А.В. Фатеев, А.Ф. Еманов, А.А. Еманов. Мониторинг промышленных взрывов в Западной Сибири	88
А.Л. Собисевич, Л.Е. Собисевич, А.Г. Фатьянов, А.В. Разин. Аналитический анализ длиннопериодных сейсмогравитационных процессов. Новые вызовы	89
В.М. Соловьев, А.Ф. Еманов, В.С. Селезнев, С.А. Елагин, Н.А. Галёва. Развитие сети режимных вибросейсмических наблюдений в северо-западной части Алтае-Саянского региона	90

В.М. Соловьев, В.С. Селезнев, А.С. Сальников, Т.А. Сальников, Т.В. Кашубина, Н.А. Галёва. Глубинные сейсмические исследования на Восточно-Становом фрагменте опорного профиля 8-ДВ	91
В.М. Соловьев, В.С. Селезнев, В.В. Чечельницкий, А.С. Сальников, Н.А. Галёва. К обоснованию высоких скоростей <i>P</i> - и <i>S</i> -волн в верхней мантии Забайкалья	92
А.П. Соломонова, Е.П. Семенова, Т.А. Фокина. Влияние землетрясений на подводный мир Дальневосточного региона	93
В.Д. Суворов, Ц.А. Тубанов, Н.А. Гилёва. Релокация афтершоков Култукского землетрясения методом квадратичных координат	94
Д.Г. Таймазов, М.Г. Магомед-Касумов, Т.И. Шарапудинов, М.С. Султанахмедов. О причинах внутрисуточных колебаний слабой сейсмичности	95
А.В. Федоров, И.С. Федоров, А.И. Воронин, В.Э. Асминг. Определение параметров пробега снежных лавин по данным инфразвуковых наблюдений	96
А.С. Фомочкина, Б.Г. Букчин. Построение параметров очагов региональных землетрясений по записям поверхностных волн	97
Х.Л. Хамидов, Б.Р. Ганиева, Ф.И. Ибрагимов, С.Г. Анварова. Сейсмические колебания плотины Гиссаракского водохранилища Узбекистана	98
И.М. Хасанов, Н.К. Гайдай. Малоглубинные поисковые сейсмические исследования в регионе южного побережья озера Виктория (Объединенная Республика Танзания)	99
М.А. Хритова, С.Ю. Тошаков, Е.А. Кобелева. Создание виртуальной сети сейсмических станций Байкальского региона	100
Л.Р. Цыдыпова, Ц.А. Тубанов, Д.П.-Д. Санжиева. Качественная оценка уровня сейсмичности Центрального Байкала	101
Д.В. Чебров. Система мониторинга и прогнозирования землетрясений на Камчатке	102
Д.В. Чебров, С.А. Тихонов, И.Р. Абубакиров, Д.В. Дроздин, С.Я. Дроздина, А.В. Ландер, Е.А. Матвеевко, С.В. Митюшкина, В.М. Павлов, В.А. Салтыков, С.Л. Сеньюков, Ю.К. Серафимова. Землетрясение 16 марта 2021 г. с $ML=6.6$ вблизи Кроноцкого полуострова	103
В.В. Чечельницкий, В.А. Саньков, А.А. Добрынина. К оценке сейсмической опасности района Северомуйского тоннеля трассы БАМ	104
А.А. Шакирова, П.П. Фирстов, М.В. Лемзиков. Один из возможных механизмов генерации сейсмического режима "drumbeats" при движении по склону вязких лавовых потоков на примере извержения вулкана Кизимен в сентябре 2011 г.	105
Е.В. Шевкунова, А.А. Еманов, А.Ф. Еманов, И.А. Антонов. Наведенная сейсмичность в Горловском угольном бассейне. Колыванское землетрясение в структуре техногенной активизации	106
Н.С. Щевьёва, И.С. Владимирова, Ю.В. Габсатаров. Геодинамические аспекты сейсмогенной активизации Чилийской зоны субдукции в начале XXI в.	107
М.А. Щукин, Д.В. Костылев. Информационная система СФ ФИЦ ЕГС РАН	108
Приложение 1. Официальные сокращения названий организаций	109
Приложение 2. Сведения об авторах	113

CONTENTS

E.A. Aleshina, L.I. Karpenko, S.V. Kurtkin. Regional seismicity study of infrastructure areas of Kolyma Hydro-electric Power Station	3
F.R. Artikov, L.A. Khamidov, I.M. Alimukhamedov, B.R. Ganieva. Redistribution of internal efforts of the earth's crust from the exploitation of large reservoirs	4
O.A. Asmanov, Z.A. Adilov. Macroseismic manifestations of the Buinaksk earthquake on May 24, 2019	5
V.E. Asming. The system LORS2 for monitoring of seismicity of the Khibiny mountain massif	6
V.V. Atrokhin, E.A. Aleshina, L.I. Karpenko, S.V. Kurtkin. Features of the seismotectonics areas of Ust-Srednekan Hydro-electric Power Station	7
S.M. Babushkin, A.Yu. Rybushkin, D.O. Tereshkin, N.N. Nevedrova. Measuring module for electromagnetic survey	8
S.S. Bagaeva, I.Yu. Dmitrieva, A.A. Sayapina. Jeyrakh earthquake on May 24, 2020, $K=10.6$ in the Republic of Ingushetia	9
S.S. Bagaeva, A.A. Sayapina, I.Yu. Dmitrieva, S.V. Gorozhantsev. Study of weak swarm sequences of earthquakes in the area of the Elbrus volcano in 2018	10
V.V. Bal, N.K. Gayday, A.N. Muromtsev. The use of lightweight enclosing structures in seismic conditions of the city of Magadan	11
S.V. Baranov, A.Yu. Motorin, P.N. Shebalin. On the spatial distribution of post-seismic activity in the Khibiny massif	12
T.B. Batyrov, M.A. Isaev. Seismicity of Dagestan for 2019	13
A.A. Bakh, A.F. Emanov, A.G. Sheboltasov, V.V. Yankaitis, N.A. Serezhnikov. Torsional and vertical natural vibrations of buildings according to the standing wave method	14
A.A. Bryksin. Development of a network of mobile seismic stations operating in real time	15
V.Yu. Burmin, I.B. Shemeleva, A.M. Avetisyan, K.S. Ghazaryan. Spatial distribution of Caucasus earthquakes	16
P.G. Butyrin, F.G. Verkholtantsev. Integration of logger "Ermak-5" into regional seismic networks	17
P.G. Butyrin, A.I. Khrypina, K.V. Klimov. Unified information system for universal access to seismological data: concept and development paths	18
Yu.A. Vinogradov, S.B. Borovik. Classification of seismic events in the Arctic	19
I.S. Vladimirova, Yu.V. Gabsatarov. Study of the features of the formation and development of the focal zone of the 2011 Tohoku earthquake based on satellite geodetic data	20
I.S. Vladimirova, Yu.V. Gabsatarov, D.A. Alekseev, L.I. Lobkovskiy. The influence of the fault-block structure of the continental margin on the seismic process in subduction regions	21
Yu.V. Gabsatarov, I.S. Vladimirova. Construction of a two-element keyboard model of the seismic cycle in the Kuril subduction zone	22
Yu.V. Gabsatarov, I.S. Vladimirova, G.M. Steblov, K.I. Muravieva. Identification of the earth surface deformations caused by various geodynamic processes in the Kuril-Kamchatka subduction zone	23
I.P. Gabsatarova, E.A. Babkova, L.N. Koroletski, E.A. Selivanova. Interpretation of the data by rare earthquakes in the Sea of Azov and the Black Sea	24

V.I. German. Distributions of spatial and temporal characteristics of seismicity structure	25
V.I. German. Relations of magnitudes and energy class for Altai-Sayan region	26
E.I. German, Ts.A. Tubanov, D.P.-D. Sanzhieva. Spatial and temporal grouping of earthquakes in the Central part of the Baikal rift	27
E.A. Gladyshev, A.V. Durachenko, E.V. Shevkunova, A.A. Emanov, A.F. Emanov, D.G. Korabel'shchikov, V.G. Podkorytova, I.A. Antonov. Ammunition explosions near Achinsk and dynamic characteristics of excited wave fields	28
S.V. Gorovoy, S.B. Naymov. Cross correlation functions of earthquake seismic signals on March 25, 2020 near the Kuril Ridge	29
N.N. Grib, <u>V.S. Imaev</u> , G.V. Grib. Seismic activity level shift driven by industrial explosions in South Yakutia	30
P.V. Gromyko. The method for monitoring the state of rotary mechanisms on the data of seismic observations	31
I.Yu. Dmitrieva, A.A. Sayapina, S.S. Bagaeva, S.V. Gorozhantsev. About the Verkhniy Fiagdon earthquake of January 26, 2020	32
R.A. Dyagilev. Practical aspects of using new seismic intensity scale (SIS-2017) in macroseismic survey	33
A.A. Emanov, A.F. Emanov, E.E. Matveev, E.V. Shevkunova, V.G. Podkorytova, N.A. Serezhnikov, D.G. Korabelshchikov, S.A. Elagin, E.A. Gladyshev, I.A. Antonov, A.V. Durachenko, V.V. Yankaitis. Processing of a local seismic group for the study of seismic events and noise in the area of Zheleznogorsk, Krasnoyarsk territory	34
A.A. Emanov, A.F. Emanov, A.V. Fateev, E.V. Shevkunova. Influence of large earthquakes on the evolution of seismicity in the Altay-Sayan mountain region	35
A.A. Emanov, A.F. Emanov, A.V. Fateev, E.V. Shevkunova. Technogenic seismicity in Kuzbass	36
A.A. Emanov, D.G. Korabel'shchikov, I.A. Antonov, A.V. Durachenko, A.V. Fateev, V.V. Iankaitis. Capabilities of the Altai-Sayan mountain region seismic network	37
A.F. Emanov, A.A. Emanov. Algorithms for processing seismic waves for digital seismology	38
A.F. Emanov, A.A. Emanov, V.V. Chechel'nitskiy, E.V. Shevkunova, Ya.B. Radziminovich, A.V. Fateev, E.A. Kobeleva, E.A. Gladyshev, V.V. Arapov, A.I. Artemova, V.G. Podkorytova. Khubsugul earthquake 11.01.2021, Mw=6.7, ML=6.9	39
A.F. Emanov, V.M. Solov'ev, Zh.G. Petuhova, D.V. Dubrov, A.A. Emanov, V.V. Yankajtis, P.O. Polaynskiy, R.A. Ershov, A.A. Bah, S.A. Elagin, N.A. Serezhnikov, D.V. Skotnikov. Geophysical researches on crashed reservoir in Norilsk	40
M.A. Efremenko, S.P. Pivovarov, K.Yu. Silkin. Key signs of wave fields induced by industrial explosions in the Voronezh crystalline massif	41
V.A. Zhmud, S.V. Panov, M.D. Parushkin, A.Yu. Rybushkin, D.O. Tereshkin, V.Yu. Timofeev, Yu.N. Fomin. Two-channel He-Ne laser strainmeters	42
A.D. Zavyalov, O.D. Zotov, A.V. Guglielmi. A new approach to determining the size of the earthquake focal zone	43
A.S. Zvereva. Preliminary estimates of station corrections of seismic stations of the West Caucasus network	44
F.H. Karimov, N.Gh. Salomov. Rock sample's creep and tectonic earthquake preparation model	45
I.V. Kokovkin. On the possibility of remote monitoring of the Novosibirsk HPP hydraulic units operation	46

G.N. Kopylova, E.A. Budilova, V.A. Kobzev, V.P. Dolgikh. Geomagnetic observations at CGO "Karymshina" of Kamchatka Branch of GS RAS	47
T.Yu. Koroleva. Rayleigh wave velocity maps beneath Caucasus	48
L.N. Koroletski, A.S. Zvereva, N.V. Budeeva, I.P. Gabsatarova. Features of seismicity of the North Caucasus in 2019-2020	49
D.V. Krechetov. Monitoring of the condition of the dam of Sayano-Shushenskaya power station by changes of its own vibration frequencies to the data of the seismic station "Cheryomushki"	50
A.D. Kurova, N.V. Petrova, V.I. Levina, G.M. Bakhtiarova. Development of the database "Earthquake in Northern Eurasia"	51
S.V. Kurtkin, E.A. Aleshina, B.M. Sedov , L.I. Karpenko. Seismic microzoning of infrastructure areas of Kolyma Hydro-electric Power Station	52
A.A. Lebedev, V.A. Meshcheryakova, I.A. Zueva, L.I. Bakunovich. Results of regional seismic monitoring of the territory of Karelia according to data for 2017-2019	53
A.V. Liseykin, V.S. Seleznev, A.A. Bryksin, D.V. Krechetov, I.V. Kokovkin. The possibilities of river seismic exploration to study the deep structure of the Earth's crust	54
E.V. Lisunov, E.M. Titov, S.V. Gorozhantsev. On the results of complex geophysical observations of underground nuclear explosions in the DPRK	55
H.D. Magomedov, Z.A. Adilov. Registration capabilities of the local seismological network of the Branch of "RusHydro"- "Dagestan branch"	56
A.V. Mikheeva, I.I. Kalinnikov. Creepex analysis of processes in large earthquakes focal zones by the GIS-ENDDB tools	57
A.N. Morozov, N.V. Vaganova. Low-magnitude seismicity and the velocity structure of the continent-ocean transition zone in the Eurasian Arctic	58
A.N. Morozov, N.V. Vaganova, V.E. Asming, L.G. Dulentsova, Z.A. Evtyugina. Relocation of the earthquakes in the early instrumental period	59
L.I. Nadezhka, E.I. Zolototrubova, I.T. Ezhova. Evaluation of the degree of influence of geological-geophysical characteristics of places of installation of seismic stations on the character of records of seismic events	60
M.Yu. Nesterenko, V.S. Belov. Natural and techogenic seismicity of the Eastern Orenburg region	61
M.G. Ochkovskaya, N.A. Gileva, I.B. Radziminovich. Seismicity within the Baikal natural territory for the digital registration period	62
N.M. Panas, B.A. Assinovskaya. Dynamic parameters of weak earthquakes of the southeastern slope Baltic shield	63
A.A. Papkova, N.A. Gilyova. Seismic monitoring of the Baikal Region with aftershock and swarm sequences	64
M.D. Parushkin, S.V. Panov, A.Yu. Rybushkin, V.Yu. Timofeev, Yu.N. Fomin. Overview of laser deformography data registered in the Baikal region in the period from 1994 to 2015	65
R.A. Pashayan, L.V. Harutyunyan, K.G. Tovmasyan. Geophysical monitoring of the geodynamic regime of Central Armenia	66
N.V. Petrova, I.P. Gabsatarova, A.D. Kurova. On influence of depth and distance on estimation of surface waves magnitude	67
N.V. Petrova, I.P. Gabsatarova, R.A. Diagilev. Features of the macroseismic field of earthquakes in some regions of Northern Eurasia with weak seismic activity	68
S.P. Pivovarov, M.A. Efremenko, R.S. Pivovarov. Experience in the practical application of the MS scale to determine the magnitudes of technogenic seismic events in the Voronezh crystalline massif	69

P.O. Polyanskiy, A.F. Emanov, A.S. Sal`nikov. Research of Earth`s crust structure with technique of head waves dynamic conversion to time sections and dynamic hodographs	70
P.V. Ponomarev, N.N. Nevedrova. Monitoring of the Beltir site in the southwestern part of the Chuya valley using the direct current methods	71
N.L. Ponomareva, M.M. Akhmedova. Current state of the focal zone of the Dagestan earthquake of May 14, 1970	72
P.A. Predein, A.A. Dobrynina, T.A. Tubanov. Body-waves attenuation along the central part of the Baikal rift: methods and results	73
B.G. Pustovitenko, V.E. Kulchitsky. Monitoring of seismicity in the northwestern part of Crimea	74
B.G. Pustovitenko, E.E. Eredzhepov. Investigation of the spectral properties of earthquakes in Crimea by energy spectra	75
A.Yu. Rybushkin, D.O. Tereshkin. Modern seismic recorders "Baikal"	76
O.A. Saidov. About technogenic seismicity of the reservoir area of the Chirkeyskaaya HPP (Dagestan)	77
D.P.-D. Sanzhieva, Ts.A. Tubanov, P.A. Predein, A.A. Dobrynina. Calculation of source parameters of earthquakes in the Central Baikal	78
D.A. Safonov. The earthquake on February 13, 2020, M=6.9 and tectonic stress field in the zone of intermediate depths	79
I.N. Safronich. Geophysical representation of the model of microseismic background	80
I.N. Safronich. Opportunity of using the model of microseismic background to assess the correct operation of the equipment	81
A.A. Sayapina, S.S. Bagaeva, I.Yu. Dmitrieva, S.V. Gorozhantsev. Seismicity in the Vladikavkaz deep fault zone according to NOD GS RAS data	82
A.A. Sayapina, S.S. Bagaeva, I.Yu. Dmitrieva, S.V. Gorozhantsev. Seismological studies of the central part of the North Caucasus in 2020 according to NOD GS RAS data	83
I.A. Sdelnikova, G.M. Steblov. Satellite geodesy for seismological tasks	84
I.A. Sdelnikova. Coseismic deformations of the strongest subduction earthquakes based on satellite geodetic observations	85
V.S. Seleznev, A.V. Liseykin, V.M. Soloviev, P.V. Gromyko. Application of technogenic noises in seismology	86
A.E. Semenov. Geophysical fields and modern seismic activity the Voronezh crystalline massif	87
N.A. Serezhnikov, E.V. Shevkunova, A.V. Fateev, A.F. Emanov, A.A. Emanov. Monitoring of industrial explosions in Western Siberia	88
A.L. Sobisevich, <u>L.E. Sobisevich</u> , A.G. Fatyanov, A.V. Razin. Analytical analysis of long-period seismogravitational processes. New challenges	89
V.M. Solovyev, A.F. Emanov, V.S. Selesnev, S.A. Elagin, N.A. Galyova. Development of a network of regime vibroseismic observations in the northwestern part of the Altai-Sayan region	90
V.M. Solovyev, V.S. Selesnev, A.S. Sal`nikov, T.A. Sal`nikov, T.V. Kashubina, N.A. Galyova. Deep seismic studies on the East-Stanovy fragment of the profile 8-DV	91
V.M. Solovyev, V.S. Selesnev, V.V. Chechel'nitsky, A.S. Sal`nikov, N.A. Galyova. To substantiate the high velocities of P- and S-waves in the upper mantle of Transbaikalia	92
A.P. Solomonova, E.P. Semenova, T.A. Fokina. On the effects of earthquakes on marine animals in the Far East region	93

V.D. Suvorov, Ts.A. Tubanov, N.A. Gileva. Relocation of the Kultuk earthquake aftershocks by the method of quadratic coordinates	94
D.G. Taimazov, M.G. Magomed-Kasumov, T.I. Sharapudinov, M.S. Sultanakhmedov. About the causes of diurnal fluctuations of weak seismicity	95
A.V. Fedorov, I.S. Fedorov, A.I. Voronin, V.E. Asming. Determination of snow avalanches driving parameters by infrasonic observation data	96
A.S. Fomochkina, B.G. Bukchin. The determination of the source parameters of regional earthquakes from surface wave records	97
Kh.L. Khamidov, B.R. Ganieva, F.I. Ibragimov, S.G. Anvarova. Seismic vibrations of the dam of the Gissarak reservoir in Uzbekistan	98
I.M. Hasanov, N.K. Gayday. Low deep seismic research in the Victoria lake south coast region (United Republic of Tanzania)	99
M.A. Khritova, S.Yu. Toshchakov, E.A. Kobeleva. Creating a virtual network of seismic stations in the Baikal region	100
L.R. Tcydypova, Ts.A. Tubanov, D.P.-D. Sanzhieva. Qualitative assessment of the seismicity level of the Central Baikal	101
D.V. Chebrov. System for monitoring and forecasting earthquakes in Kamchatka	102
D.V. Chebrov, S.A. Tikhonov, I.R. Abubakirov, D.V. Droznin, S.Y. Droznina, A.V. Lander, E.A. Matveenko, S.V. Mityushkina, V.M. Pavlov, V.A. Saltykov, S.L. Senyukov, Yu.K. Serafimova. Earthquake on March 16, 2021 (ML=6.6) near the Kronotsky Peninsula	103
V.V. Chechelnitkiy, V.A. Sankov, A.A. Dobrynina. On the seismic hazard assessment of the Severomuisky tunnel of the BAM railway	104
A.A. Shakirova, P.P. Firstov, M.V. Lemzikov. One of the possible mechanism of generating the seismic mode "drumbeats" during moving of viscous lava flows on the example of the Kizimen volcano eruption in September, 2011	105
E.V. Shevkunova, A.A. Emanov, A.F. Emanov, I.A. Antonov. Induced seismicity in the Gorlovka coal basin. The Kolyvan earthquake in the structure of technogenic activation	106
N.S. Shchevyeva, I.S. Vladimirova, Yu.V. Gabsatarov. Geodynamical aspects of seismogenic activation of the Chilean subduction zone at the beginning of the XXI century	107
M.A. Shchukin, D.V. Kostylev. SD GS RAS Informational system	108
Appendix 1. Official names of organizations reducing	109
Appendix 2. Data on authors	113

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ФИЦ ЕГС РАН

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН) обладает уникальным штатом высококлассных специалистов в области сейсмологии, геофизики, информационных технологий и коммуникационных систем, которые обеспечили разработку большого количества современных инновационных технологий мирового уровня. Эти технологии, базирующиеся на использовании разнообразных образцов геофизической аппаратуры и новейших программных комплексов, обеспечивают проведение широкого спектра научно-исследовательских и прикладных, инженерно-геологических и геологоразведочных работ, включающих:

- проведение непрерывного сейсмического и геофизического мониторинга на различных ответственных объектах (АЭС, ГЭС, ГРЭС, плотины, газопроводы, нефтепроводы, мостовые переходы, тоннели и др.);
- работы по сейсмическому микрорайонированию территорий населенных пунктов и площадок предполагаемого строительства с выдачей заключений об их сейсмичности;
- оценку степени опасности сейсмических воздействий взрывов на здания и сооружения;
- изучение гидроразрывов пластов на нефтяных месторождениях;
- проведение микросейсмических съемок на месторождениях углеводородов и нефтеперспективных территориях для выбора мест заложения первоочередных разведочных скважин;
- построение скоростных разрезов поперечных волн по данным спектрального анализа поверхностных волн, регистрируемых при пассивных микросейсмических съемках;
- инфразвуковые и сейсмо-инфразвуковые технологии мониторинга;
- изучение физического состояния зданий, сооружений и работающего оборудования;
- региональные глубинные сейсмические исследования с использованием взрывов и мощных виброисточников;
- режимные вибротсейсмические наблюдения мощными вибраторами;
- морские и речные сейсмические и электроразведочные исследования для решения задач нефтяной геологии;
- детальные площадные электроразведочные исследования;
- инженерно-сейсморазведочные исследования;
- разработка многоканальных регистрирующих систем геофизических полей;
- изучение деструкции многолетнемерзлых пород геофизическими методами.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ЕДИНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ФИЦ ЕГС РАН)**

URL: <http://www.gsras.ru/>. E-mail: frc@gsras.ru

Центральное отделение (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН

249035, Калужская область, г. Обнинск, проспект Ленина, д. 189.
Тел.: +7 (495) 912-68-72, +7 (484) 393-14-05, факс: +7 (484) 393-02-34.
URL: <http://www.gsras.ru/>. E-mail: frc@gsras.ru

Алтае-Саянский филиал (АСФ) ФИЦ ЕГС РАН

630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Зоологическая, д. 8.
Тел.: +7 (383) 330-12-61, факс: +7 (383) 330-12-61.
URL: <https://asgsr.ru/>. E-mail: asf@gs.sbras.ru

Байкальский филиал (БФ) ФИЦ ЕГС РАН

664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128.
Тел. +7 (3952) 42-60-18, факс: +7 (3952) 42-60-18.
URL: <http://www.seis-bykl.ru/>. E-mail: bomse@crust.irk.ru

Бурятский филиал (БуФ) ФИЦ ЕГС РАН

670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. ба.
Тел.: +7 (3012) 43-49-01, факс: +7 (3012) 33-60-24.
E-mail: gs@ginst.ru

Дагестанский филиал (ДФ) ФИЦ ЕГС РАН

367008, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Белинского, д. 16.
Тел.: +7 (8722) 67-02-73, факс: +7 (8722) 67-60-04.
URL: <http://dbgsras.ru/>. E-mail: info@dbgsras.ru

Камчатский филиал (КФ) ФИЦ ЕГС РАН

683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, д. 9.
Тел.: +7 (4152) 43-18-03, факс: +7 (4152) 43-18-11.
URL: <http://glob.emsd.ru/>. E-mail: kbgs@emsd.ru

Кольский филиал (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН

184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14.
Тел.: +7 (81555) 7-96-63, факс: +7 (81555) 7-65-90.
URL: <http://www.krsc.ru/>. E-mail: kolf@krsc.ru

Магаданский филиал (МФ) ФИЦ ЕГС РАН

685024, г. Магадан, ул. Скуридина, д. 6-б.
Тел.: +7 (4132) 62-23-77, факс: +7 (4132) 62-23-77.
E-mail: ma2@memsd.ru

Сахалинский филиал (СФ) ФИЦ ЕГС РАН
693010, г. Южно-Сахалинск, ул. Тихоокеанская, д. 2-а.
Тел.: +7 (4242) 45-11-66, факс: +7 (4242) 43-43-39.
E-mail: *omsp@seismo.sakhalin.ru*

Северо-Осетинский филиал (СОФ) ФИЦ ЕГС РАН
362002, Республика Северная Осетия-Алания,
г. Владикавказ, ул. Маркова, д. 93-а.
Тел.: +7 (8672) 76-89-04, факс: +7 (8672) 76-89-04.
URL: *http://sofgsras.ru/*. E-mail: *sofgsras@gmail.com*

Сейсмологический филиал (СФ) ФИЦ ЕГС РАН
630090, Новосибирская область, г. Новосибирск,
Морской проспект, д. 2, оф. 414.
Тел.: +7 (383) 333-20-21, факс: +7 (383) 333-32-28.
URL: *http://sefgsr.ru/*. E-mail: *sef@gs.nsc.ru*

Якутский филиал (ЯФ) ФИЦ ЕГС РАН
677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, проспект Ленина, д. 39.
Тел.: +7 (4112) 33-51-88, факс: +7 (4112) 33-51-88.
URL: *https://yakgsras.ru/*. E-mail: *seisyak@ya.ru*

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ.
ТЕЗИСЫ XV МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ**

Отв. редактор член-корреспондент РАН А.А. Маловичко Новосибирск,
Россия, 6–10 сентября 2021 г.

Редактор, компьютерная верстка: С.Г. Пойгина
Корректор: С.В. Бутырина

Подписано в печать 16.08.2021 г.

Формат 60×90/8.

Печ. л. 17. Тираж 120 экз. Зак. № 210484.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»
249035, г. Обнинск, Калужская обл., пр. Ленина, д. 189.
Тел.: 8-484-393-14-05, 8-495-912-68-72. E-mail: frc@gsras.ru

Отпечатано с оригинала макета в ООО «Интер-ЕС» 614068,
Пермский край, г. Пермь, ул. Плеханова, д. 39. Тел./факс 8
(342) 2-150-170. E-mail: inter-yes@mail.ru